



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL
DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN *MODIFIED
FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR**

**Alfa Kusnal Faizin
NRP 2211100133**

**Dosen Pembimbing
Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TE 141599

***ADAPTIVE PROTECTION FOR OPTIMAL
COORDINATION DIGITAL OVERCURRENT RELAY
USING MODIFIED FIREFLY ALGORITHM IN RADIAL
DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISTRIBUTED
GENERATION***

Alfa Kusnal Faizin
NRP 2211100133

Advisor
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M. Eng.
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL
DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN *MODIFIED*
FIREFLY ALGORITHM PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR**

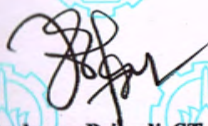
TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

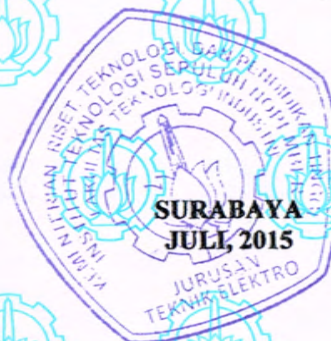


Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Dosen Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P., M.Eng.
NIP. 195809161986011001



PROTEKSI ADAPTIF UNTUK KOORDINASI OPTIMAL DIGITAL RELE ARUS LEBIH MENGGUNAKAN *MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

Nama : Alfa Kusnal Faizin
Pembimbing I : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Pembimbing II : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

ABSTRAK

Rele arus lebih adalah peralatan proteksi yang penting dalam sistem tenaga. Adanya pembangkit tersebar menimbulkan beberapa tantangan untuk melindungi sistem distribusi. Untuk mengurangi kerugian akibat arus beban lebih maupun arus gangguan hubung singkat dan menghindari kesalahan operasi rele *backup*, karena itu koordinasi rele arus lebih dalam sistem proteksi menjadi perhatian utama para insinyur proteksi dan peneliti. Tugas akhir ini menyajikan koordinasi optimal OCR pada sistem distribusi radial dengan DG. Koordinasi optimal OCR didasarkan pada pemilihan nilai *time dial setting* (TDS) dan arus *pickup* (I_{pickup}) untuk mendapatkan waktu operasi rele minimal. *Modified firefly algorithm* (MFA) diusulkan untuk mencari koordinasi optimal OCR. Metode MFA digunakan pada sistem dengan tiga pembangkit yang berbeda dengan berbagai kondisi sistem. Metode MFA dibandingkan dengan metode *firefly algorithm* (FA) asli. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan secara signifikan dapat meningkatkan hasil dari FA asli dan dapat mengurangi waktu operasi dari koordinasi OCR.

Kata kunci : hubung singkat, *modified firefly algorithm*, *time dial setting* (TDS), arus *pickup*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ADAPTIVE PROTECTION FOR OPTIMAL COORDINATION DIGITAL OVERCURRENT RELAY USING MODIFIED FIREFLY ALGORITHM IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATION

Name : Alfa Kusnal Faizin
Advisor I : Dr.Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Advisor II : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

ABSTRACT

Overcurrent relays (OCRs) is an important devices in the power system. In the presence of distribution generation (DG), cause several challenges to protection of distribution system. To reduce effect of overload and overcurrent and avoid mal-operation of the backup relays, therefor OCR coordination in protection system get a major concern of the protection engineer and researcher. This paper presents an optimal OCR coordination in power distribution system under the presence of DG. An optimal OCR coordination is based on the selection of time dial setting (TDS) and pickup current inorder to obtain minimum operating time for the relays. A modified firefly algorithm (MFA) is proposed to finds the optimal OCR coordination. The proposed method is applied to three different case studies with DG in several of system condition. The proposed method is compared with the original firefly algorithm. The results show that the proposed method can significantly improve the result of the original firefly algorithm and reduce operating time of the OCR coordination.

Keywords : short circuit, modified firefly algorithm, time dial setting (TDS), pickup current

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT sebagai rasa syukur yang besar atas terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini dengan baik. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan Strata-1 bidang studi Teknik Sistem Tenaga, jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas akhir ini berdasarkan pembelajaran dan penelitian yang telah dilakukan dan tidak terlepas dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng dan Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng selaku pembimbing tugas akhir ini yang senantiasa sabar memberikan ilmu dan bimbingannya
2. Sarifudin dan Binti Munawaroh selaku orang tua, kedua adik saya Wildan Nurfitra dan M. Nailul Ulum, serta keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan saya untuk kesuksesan tugas akhir
3. Sri Hidayati, Dimas Okky Anggriawan, Anang Tjahjono, Mohamad Aziz, Galuh Santiko Aji, Rony Yusuf Rahmatullah, Aldhino Putra, Agung Adi Pratama, Yoga Dewangga, M. Rizky Pratama, Achmad Dahlan, dan Satria Simamora yang selalu memberikan tekanan mental untuk mengerjakan tugas akhir dengan baik
4. Teman-teman e-51 yang senantiasa memberikan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir
5. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam buku tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan yang bersifat membangun untuk perbaikan selanjutnya. Semoga buku tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu dan teknologi serta bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Mei 2015

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Metodologi	2
1.4.1. Studi Literatur	3
1.4.2. Pemodelan Sistem	3
1.4.3. Pembuatan Program	3
1.4.4. Optimasi Kerja Rele	3
1.4.5. Analisa Data	3
1.4.6. Kesimpulan	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
1.6. Manfaat	4
 BAB II PRINSIP KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR	 5
2.1. <i>Distributed Generation</i>	5
2.1.1. <i>Wind Turbine Generator</i>	5
2.1.2. Generator Induksi dan Generator Sinkron	6
2.2. Gangguan yang Diamankan Pengaman Arus Lebih	7
2.2.1. Gangguan Beban Lebih	8
2.2.2. Gangguan Hubung Singkat	8
2.3. Perhitungan Arus Hubung Singkat	9
2.3.1. Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah	9
2.3.2. Hubung Singkat Dua Fasa	9
2.4. Rele Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>)	10
2.4.1. Tipe <i>Overcurrent Relay</i>	11

2.5. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih	14
2.5.1. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu <i>Inverse</i>	14
2.5.2. <i>Setting</i> Rele Arus Lebih Waktu Instan	15
2.5.3. Koordinasi Berdasarkan Arus dan Waktu	15
2.6. Koordinasi Proteksi <i>Directional Overcurrent Relay</i> (DOCR)	16
2.6.1. Koordinasi Proteksi Rele pada Sistem Radial	16
2.6.2. Koordinasi Proteksi Rele dengan DG	17
2.7. <i>Firefly Algorithm</i>	18
BAB III PERANCANGAN SISTEM SIMULASI	23
3.1. <i>Modified Firefly Algorithm</i>	23
3.2. <i>Adaptive Modified Firefly Algorithm</i>	25
3.3. Sistem Kelistrikan Radial dengan DG	25
3.4. Fungsi Objektif	25
3.5. Data Sistem Distribusi	26
3.6. Data Pembangkit	26
3.7. Data Beban pada Sistem Kelistrikan	27
3.8. Data Peralatan Proteksi pada Sistem Kelistrikan	27
3.9. Pemodelan Sistem Kelistrikan dengan Berbagai Kondisi Pembangkit	29
3.9.1. Kondisi 1	29
3.9.2. Kondisi 2	31
3.9.3. Kondisi 3	31
3.9.4. Kondisi 4	32
3.10. Perubahan Kondisi Pembangkitan pada Sistem Kelistrikan	34
3.10.1. Arus Hubung Singkat Maksimum	34
3.10.2. Arus Hubung Singkat Minimum	34
BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	37
4.1. <i>Setting</i> Adaptif Rele OCR Menggunakan Metode Konvensional	37
4.1.1. <i>Setting</i> Rele OCR untuk Kondisi 1	37
4.1.2. <i>Setting</i> Rele OCR untuk Kondisi 2	45
4.1.3. <i>Setting</i> Rele OCR untuk Kondisi 3	51
4.1.4. <i>Setting</i> Rele OCR untuk Kondisi 4	55

4.2. Adaptif Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan Modified Firefly Algorithm	61
4.2.1. <i>Setting</i> OCR dengan AI pada Kondisi 1	62
4.2.2. <i>Setting</i> OCR dengan AI pada Kondisi 2	63
4.2.3. <i>Setting</i> OCR dengan AI pada Kondisi 3	64
4.2.4. <i>Setting</i> OCR dengan AI pada Kondisi 4	66
4.3. Hasil Setting Waktu Operasi Metode Konvensional dan Metode Optimasi	68
4.4. Analisis Hasil Plot Koordinasi Proteksi dengan Metode Konvensional dan Modified Firefly Algorithm	69
4.4.1. Hasil Plot dari <i>Setting</i> pada Kondisi 1	69
4.4.2. Hasil Plot dari <i>Setting</i> pada Kondisi 2	73
4.4.3. Hasil Plot dari <i>Setting</i> pada Kondisi 3	77
4.4.4. Hasil Plot dari <i>Setting</i> pada Kondisi 4	79
BAB V PENUTUP	85
5.1. Kesimpulan	85
5.2. Penelitian Selanjutnya	86
DAFTAR PUSTAKA	87
RIWAYAT HIDUP	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe dan Ukuran DG	5
Tabel 2.2 Koefisien Inverse <i>Time Dial Setting</i> OCR SEG XII-I	15
Tabel 3.1 Data Trafo pada Sistem Distribusi	26
Tabel 3.2 Data Kabel pada Sistem Distribusi	26
Tabel 3.3 Data Pembangkit pada Sistem Kelistrikan	26
Tabel 3.4 Data Beban pada Sistem Kelistrikan	27
Tabel 3.5 Data Peralatan Proteksi pada Sistem Kelistrikan	27
Tabel 3.6 Pemodelan Kondisi Sistem Kelistrikan	29
Tabel 3.7 Arus Hubung Singkat Minimum	34
Tabel 3.8 Arus Hubung Singkat Maksimum	35
Tabel 4.1 Hasil Setting OCR secara Konvensional pada Kondisi 1	44
Tabel 4.2 Hasil Setting OCR secara Konvensional pada Kondisi 2	51
Tabel 4.3 Hasil Setting OCR secara Konvensional pada Kondisi 3	55
Tabel 4.4 Hasil Setting OCR secara Konvensional pada Kondisi 4	60
Tabel 4.5 Hasil Setting OCR menggunakan AI pada Kondisi 1	62
Tabel 4.6 Hasil Setting OCR menggunakan AI pada Kondisi 2	63
Tabel 4.7 Hasil Setting OCR menggunakan AI pada Kondisi 3	65
Tabel 4.8 Hasil Setting OCR menggunakan AI pada Kondisi 4	66
Tabel 4.9 Hasil Setting <i>Tripping Time</i> Metode Konvensional dan Optimasi	68

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Karakteristik OCR Tipe Definite Current Relay.....	12
Gambar 2.2	Karakteristik OCR Tipe Definite Time Relay	13
Gambar 2.3	Karakteristik OCR Tipe Inverse Time Relay.....	13
Gambar 2.4	Koordinasi Iset untuk Pengaman pada Trafo.....	15
Gambar 2.5	Sistem Distribusi Radial Sederhana	17
Gambar 2.6	Sistem Distribusi Radial dengan Satu DG Terhubung .	18
Gambar 3.1	Flowchart FA dan Modifikasinya	24
Gambar 3.2	Sistem Kelistrikan Radial dengan DG.....	28
Gambar 3.3	Tipikal 11 pada Kondisi 1	30
Gambar 3.4	Tipikal 12 pada Kondisi 1	31
Gambar 3.5	Tipikal pada Kondisi 3	32
Gambar 3.6	Tipikal 41 pada Kondisi 4.....	33
Gambar 3.7	Tipikal 42 pada Kondisi 4.....	33
Gambar 4.1	Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 1	63
Gambar 4.2	Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 2.....	64
Gambar 4.3	Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 3	65
Gambar 4.4	Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 4.....	67
Gambar 4.5	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual Tipikal 11 pada Kondisi 1 dan (b) Plant Kondisi 1 Tipikal 11 .	69
Gambar 4.6	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 11 Kondisi 1	70
Gambar 4.7	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 11 Kondisi 1	70
Gambar 4.8	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 11 Kondisi 1	71
Gambar 4.9	(a) Hasil plot dari setting OCR metode manual tipikal 12 pada kondisi 1, dan (b) Plant kondisi 1 tipikal 12	71
Gambar 4.10	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 12 Kondisi 1	72
Gambar 4.11	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 12 kondisi 1	72
Gambar 4.12	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 12 Kondisi 1	73

Gambar 4.13	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual Tipikal 21 pada Kondisi 2, dan (b) Plant Kondisi 2 Tipikal 21	73
Gambar 4.14	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 21 Kondisi 2	74
Gambar 4.15	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 21 Kondisi 2	74
Gambar 4.16	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 21 Kondisi 2	75
Gambar 4.17	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual Tipikal 22 pada Kondisi 2, dan (b) Plant Kondisi 2 Tipikal 22	75
Gambar 4.18	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 22 Kondisi 2	76
Gambar 4.19	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 22 Kondisi 2	76
Gambar 4.20	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 22 Kondisi 2	77
Gambar 4.21	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual pada Kondisi 3, dan (b) Plant Kondisi 3	77
Gambar 4.22	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Kondisi 3	78
Gambar 4.23	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Kondisi 3	78
Gambar 4.24	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Kondisi 3	79
Gambar 4.25	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual Tipikal 41 pada Kondisi 4, dan (b) Plant Kondisi 4 Tipikal 41	79
Gambar 4.26	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 41 Kondisi 4	80
Gambar 4.27	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 41 Kondisi 4	80
Gambar 4.28	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 41 Kondisi 4	81
Gambar 4.29	(a) Hasil Plot dari Setting OCR Metode Manual Tipikal 42 pada Kondisi 4, dan (b) Plant Kondisi 4 Tipikal 42	81
Gambar 4.30	Hasil Plot Setting OCR Metode FA Tipikal 42 Kondisi 4	82
Gambar 4.31	Hasil Plot Setting OCR Metode MFA Tipikal 42 Kondisi 4	82
Gambar 4.32	Hasil Plot Setting OCR Metode AMFA Tipikal 42 Kondisi 4	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Koordinasi proteksi rele memiliki peranan penting pada sistem tenaga karena didesain untuk menjamin kontinuitas dari suplai kelistrikan. Analisis *load flow* dan hubung singkat diperlukan untuk *setting* rele proteksi. Pada koordinasi proteksi, OCR lebih sering digunakan daripada tipe rele yang lain. OCR beroperasi dengan mendeteksi kondisi gangguan dan kemudian memberikan instruksi kepada *circuit breaker* (CB) untuk memutuskan daerah yang terkena gangguan. Untuk mengurangi bahaya pada sistem tenaga selama gangguan arus lebih, beberapa OCR digunakan sebagai peralatan proteksi primer dan *backup*. Desain koordinasi proteksi harus menjamin keandalan, selektif, fleksibel, dan kecepatan operasi untuk mengisolasi area gangguan. Koordinasi proteksi yang baik sangat penting untuk melindungi peralatan karena koordinasi proteksi yang jelek dapat memperluas area gangguan, tidak perlu *blackout* dan membahayakan peralatan.

Normalnya, OCR beroperasi ketika mendeteksi adanya arus beban yang melebihi batas yang telah ditentukan. Pada perhitungan koordinasi proteksi, secara umum OCR memiliki *setting* tap pada rentang 50% hingga 200% dengan step 10% dari *setting* arus *pickup*. Arus *pickup* pada rele ditentukan oleh dua parameter yaitu arus gangguan minimum dan arus beban maksimum. Variabel yang penting untuk koordinasi proteksi untuk adalah *time dial setting* (TDS) dan tap (I_{pickup}).

Penambahan *distributed generation* (DG) pada sistem distribusi dapat meningkatkan keandalan dan masalah kualitas daya [1]. Beberapa pengaruh dari DG untuk mengamankan pergantian dari nilai arus hubung singkat, karena kemungkinan adanya kesalahan trip pada jaringan. Untuk mengatasi pengaruh DG, *setting* baru koordinasi optimal diperlukan untuk menghitung dengan mempertimbangkan kehadiran DG. Banyak penelitian koordinasi OCR untuk menentukan TDS dan *setting* I_{pickup} optimum menggunakan metode konvensional dan teknik heuristik, sehingga dapat menjamin koordinasi dan total waktu operasi yang minimum [2]. Teknik konvensional menggunakan pendekatan *trial and error* untuk koordinasi OCR masih lambat dalam menemukan konvergensi karena banyaknya iterasi yang dibutuhkan

untuk mendapatkan *setting* rele yang sesuai. Selain itu, pendekatan *trial and error* pada sistem yang kompleks memerlukan waktu yang lama dan tidak optimal. Oleh karena itu, teknik optimasi digunakan untuk mengganti cara konvensional [3]. Masalah koordinasi diatasi dengan teknik pemrograman linier (LP) [4]. A. Mahari [5], mengajukan algoritma numerikal untuk mengatasi masalah koordinasi OCR. Teknik pemrograman linier memiliki solusi optimal yang sederhana dan mudah konvergen karena hanya fungsi objektif dari TDS yang dioptimalkan sedangkan arus *pickup* tidak dioptimalkan tetapi dihitung menggunakan data gangguan dan arus beban maksimum. Teknik LP tidak menjawab optimalisasi dan memiliki batasan yang sedikit. Oleh karena itu, metode optimasi didasarkan kepada algoritma yang terinspirasi oleh sifat. C. W. So [6], mengajukan koordinasi OCR menggunakan *evolutionary programming*. Uthisunthorn, D. [7], *genetic algorithm* (GA) untuk optimal koordinasi OCR.

Pada penelitian ini, *Modified Firefly Algorithm* (MFA) diusulkan untuk *setting* koordinasi optimal dari OCR. MFA digunakan untuk meningkatkan kemampuan FA untuk mencari koordinasi optimum OCR [8], [9]. Koordinasi optimal dari OCR diaplikasikan pada jaringan distribusi radial dengan penambahan DG.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah proteksi adaptif koordinasi OCR pada sebuah sistem distribusi radial dengan penambahan *Distributed Generation* (DG) terhadap berbagai kondisi pembangkitan pada sistem. Optimasi koordinasi OCR pada sistem distribusi radial dengan DG ini menggunakan *Modified Firefly Algorithm*.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan adaptif koordinasi OCR yang optimal dalam berbagai kondisi pembangkitan pada sistem distribusi radial dengan DG menggunakan metode *Modified Firefly Algorithm*, serta menjadi referensi pengembangan penelitian selanjutnya.

1.4 Metodologi

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Studi Literatur

Penulis melakukan studi terhadap berbagai referensi-referensi penelitian, jurnal ilmiah (*paper*) yang berkaitan tentang DG, koordinasi OCR, *setting* OCR, kecerdasan buatan dan referensi-referensi lain yang dianggap perlu untuk mendapatkan bahan penelitian yang akan membantu pengerjaan tugas akhir.

1.4.2 Pemodelan Sistem

Melakukan studi rele pengaman pada sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar saat terjadi gangguan maupun perubahan kondisi sistem untuk kemudian dibuat pemodelan berdasarkan parameter-parameter sistem yang ada dalam *setting* rele.

1.4.3 Pembuatan Program

Membuat diagram alir dari pemodelan sistem untuk mendapatkan program yang sesuai untuk analisis proteksi adaptif koordinasi OCR menggunakan *Modified Firefly Algorithm* pada sistem distribusi radial dengan pembangkit tersebar dalam berbagai perubahan kondisi.

1.4.4 Optimasi Kerja Rele

Melakukan optimasi dalam *setting* OCR untuk mendapatkan koordinasi proteksi optimal yang sesuai dengan kondisi sistem terkini menggunakan metode *Modified Firefly Algorithm*. Ada beberapa parameter yang ingin dioptimalkan, yaitu waktu operasi, *time dial*, dan juga arus *pickup* dengan memperhatikan kondisi sistem tenaga listrik, baik dalam hal pembangkitan maupun gangguan yang terjadi. Kondisi koordinasi optimal diperoleh ketika salah satu parameter tersebut mencapai batas minimum yang telah ditetapkan.

1.4.5 Analisis Data

Dari hasil optimasi yang telah didapatkan melalui perhitungan dan hasil simulasi akan dilakukan analisis. Data yang akan dianalisis adalah mencakup parameter-parameter yang berhubungan dengan operasi rele, sehingga didapatkan pemodelan sistem proteksi yang optimal.

1.4.6 Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan dari keseluruhan analisis dalam penelitian serta hasil yang didapatkan dari simulasi program. Selain itu, terdapat

masalah yang dapat dibahas untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang dalam pembuatan tugas akhir, permasalahan yang diangkat, tujuan tugas akhir, metodologi penulisan, sistematika penulisan serta manfaat dari tugas akhir.

BAB II PRINSIP KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH PADA DISTRIBUSI RADIAL DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

Berisi tentang teori penunjang yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB III PERANCANGAN SISTEM SIMULASI

Berisi tentang perancangan sistem simulasi yang akan dijadikan acuan dalam melakukan analisis optimasi menggunakan metode *Modified Firefly Algorithm* serta data yang dipakai dalam simulasi.

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Berisi tentang analisis dari hasil simulasi koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan yang telah dirancang serta perbandingan koordinasi OCR antara cara konvensional, menggunakan algoritma *firefly*, serta menggunakan modifikasi algoritma *firefly*.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian, saran serta rekomendasi terhadap pengembangan penelitian ini.

1.6 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan metode yang telah digunakan. Selain itu, tugas akhir ini juga dapat digunakan dalam melakukan *setting* koordinasi OCR pada distribusi radial dengan pembangkit tersebar untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

BAB II

PRINSIP KOORDINASI PROTEKSI RELE ARUS LEBIH DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

2.1 Distributed Generation

Distributed generation (DG) adalah salah satu tren terbaru di sistem tenaga yang digunakan untuk memberikan bantuan pada permintaan energi yang meningkat [1]. Tidak ada definisi yang sama mengenai konsep DG karena melibatkan banyak teknologi dan aplikasi. Setiap negara memiliki notasi yang berbeda seperti *embedded generation*, *dispersed generation*, atau *decentralized generation*. DG dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit tenaga listrik yang cukup kecil apabila dibandingkan dengan pembangkitan pusat, DG sangat dekat dari atau ke tempat pelanggan dan dapat dihubungkan dengan jaringan maupun dioperasikan secara terpisah.

Tabel 2.1 Tipe dan Ukuran DG

Tipe	Ukuran
<i>Micro Distribution Generation</i>	1 Watt < 5 kW
<i>Small Distribution Generation</i>	5 kW < 5 MW
<i>Medium Distribution Generation</i>	5 MW < 50 MW
<i>Large Distribution Generation</i>	50 MW < 300 MW

Beberapa teknologi DG yang ada pada saat ini adalah sistem *photovoltaic*, sistem turbin, *fuel cells*, *micro turbines*, generator sinkron dan generator induksi. Pada tugas akhir ini beberapa teknologi tersebut digunakan pada sistem dan akan dijelaskan yaitu *wind turbine*, generator sinkron dan generator induksi.

2.1.1 Wind Turbine Generator

Wind Turbine Generator (WTG) merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi. WTG mengubah energi angin menjadi energi listrik. Kecepatan angin sangat dinamis, merupakan sumber dengan nilai yang berubah-ubah dan tidak dapat disimpan, oleh karena itu harus diaplikasikan sesuai dengan karakteristiknya. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat karena angin merupakan sumber energi terbarukan.

Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu:

- Turbin angin sumbu horisontal (*Horizontal Axis Wind Turbine / HAWT*)
- Turbin angin sumbu vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine / VAWT*)

Ada sejumlah desain yang tersedia untuk kedua tipe diatas dan masing-masing jenis memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu. Namun apabila dibandingkan dengan jenis HAWT, jenis VAWT yang tersedia secara komersial. Ukuran turbin angin bervariasi dari yang berukuran kecil berukuran kurang dari 100 kilowatt yang hanya digunakan untuk memasok energi rumah tunggal hingga turbin komersial berukuran 5 MW.

Prinsip kerja dari WTG ditandai dengan dua langkah konversi. Pertama, rotor mengekstrak energi kinetik dari angin, merubahnya menjadi torsi mekanik di dalam poros. Langkah kedua, sistem pembangkitan mengkonversi torsi ini menjadi energi listrik. Dalam sistem yang paling umum, sistem pembangkit memberikan tegangan keluaran AC yang bergantung pada kecepatan angin. Kecepatan angin merupakan variabel, sehingga tegangan yang dihasilkan dirubah ke DC dan dikembalikan lagi ke AC dengan bantuan inverter. Namun, kecepatan tetap turbin angin secara langsung terhubung ke grid.

2.1.2 Generator Induksi dan Generator Sinkron

Generator induksi dan sinkron merupakan mesin elektrik yang merubah energi mekanik ke energi listrik kemudian disalurkan ke jaringan atau beban [1]. Generator induksi merupakan mesin induksi yang bekerja sebagai generator, oleh karena itu mesin induksi memiliki peramaan dan konstruksi yang sama untuk generator dan motor. Generator induksi mendapatkan eksitasi dari luar, pada generator induksi terdapat syarat utama yang harus dipenuhi supaya tegangan dapat timbul yaitu $N_r > N_s$ dimana N_r merupakan kecepatan rotor dan N_s adalah kecepatan sinkron.

Generator induksi merupakan generator AC yang menerapkan prinsip motor induksi untuk menghasilkan daya. Generator ini dioperasikan dengan prinsip menggerakkan rotornya secara mekanis lebih cepat daripada kecepatan sinkronnya sehingga menghasilkan slip negatif. Contoh dari aplikasi generator induksi adalah seperti pembangkit turbin angin. Generator induksi menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Generator ini dapat beroperasi pada kecepatan

rendah dan pada kecepatan yang tidak tetap, oleh karena itu generator ini banyak digunakan untuk pembangkit listrik mikrohidro maupun pembangkit listrik tenaga angin (turbin angin).

Generator sinkron sering disebut alternator memiliki prinsip kerja sebagai berikut:

- Kumpanan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi dan mensuplai arus DC terhadap kumpanan medan. Sehingga, dengan adanya arus DC yang mengalir melalui kumpanan medan maka akan timbul fluks.
- *Prime Mover* (sudah terkopel dengan rotor) dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominal.
- Perputaran rotor tersebut akan memutar medan magnet yang telah ditimbulkan oleh kumpanan medan. Kemudian menginduksikan medan putar yang telah dihasilkan rotor pada kumpanan jangkar sehingga pada kumpanan jangkar yang terletak pada stator akan menghasilkan fluks yang besarnya berubah terhadap waktu.
- Adanya perubahan fluks yang melingkupi suatu kumpanan akan menimbulkan GGL induksi pada ujung kumpanan tersebut.

Kecepatan putar generator sinkron dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f_e = \frac{n_r \cdot p}{120} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

f_e = frekuensi (Hz)

n_r = kecepatan putar rotor = kecepatan medan magnet (rpm)

p = jumlah kutub magnet

Oleh karena rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan kecepatan medan magnet, maka persamaan diatas menunjukkan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan frekuensi yang dihasilkan.

2.2 Gangguan yang Diamankan Pengaman Arus Lebih

Terdapat beberapa jenis gangguan yang ada pada sistem kelistrikan. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan beban lebih (*overload*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) dimana kedua jenis gangguan tersebut adalah gangguan yang diamankan oleh pengaman arus lebih.

2.2.1 Gangguan Beban Lebih

Pada dasarnya kondisi beban lebih bukan merupakan sebuah gangguan, namun merupakan sebuah kondisi abnormal dari sistem dimana apabila dibiarkan secara terus menerus akan dapat membahayakan peralatan dan sistem, sehingga harus diamankan dan oleh karena itu keberadaan beban lebih ini juga harus ditinjau.

Gangguan ini terjadi karena arus yang mengalir pada peralatan (trafo, generator, motor, dll) atau pada saluran telah melebihi arus nominal yang diizinkan. Jadi pada saat gangguan terjadi arus yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan pengaman yang terpasang. Pengaruh dari beban lebih ini dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan dan apabila dibiarkan akan mempercepat penuaan dan memperpendek umur peralatan listrik.

2.2.2 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan yang terjadi pada setiap fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan, gangguan ini adalah gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Sedangkan gangguan hubung singkat asimetri adalah gangguan yang mengakibatkan arus dan atau tegangan pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan jenis ini antara lain gangguan hubung singkat satu fasa, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dan gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Pada sistem tenaga listrik, gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat asimetri. Dalam proteksi sistem tenaga listrik sangat penting mengetahui distribusi arus dan tegangan di berbagai tempat sebagai akibat adanya gangguan. Karakteristik kerja rele dipengaruhi oleh nilai arus dan atau tegangan yang terbaca pada rele proteksi. Dengan mengetahui nilai arus dan tegangan di berbagai tempat maka dapat digunakan untuk menentukan setelan (*setting*) rele proteksi dan rating *circuit breaker*-nya.

Akibat adanya gangguan hubung singkat ini menyebabkan *circuit breaker* membuka dan dapat mengakibatkan terhentinya kontinuitas daya, selain itu gangguan hubung singkat juga dapat menyebabkan kerusakan peralatan listrik dan berkurangnya stabilitas daya.

2.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang digunakan untuk penelitian *setting* koordinasi rele arus lebih ini adalah arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum, untuk mengetahui besar arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum dalam distribusi dapat dihitung melalui persamaan berikut [11]:

2.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah merupakan arus hubung singkat maksimum, gangguan jenis ini melibatkan ketiga fasanya. Perhitungan arus hubung singkat tiga fasa dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$Isc = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

- dimana:
- V_{LN} = Tegangan nominal *line to netral*
- X_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

2.3.2 Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Gangguan ini termasuk dalam gangguan asimetri. Perhitungan hubung singkat antar fasa dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$Isc = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} Isc_3 \approx 0.866 Isc_3 \dots\dots\dots (2.3)$$

- dimana:
- V_{LL} = Tegangan nominal *line to line*
- X_1 = Impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan
- X_2 = Impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

Pada gangguan hubung singkat fasa ke fasa, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol karena tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan ini merupakan arus gangguan hubung singkat minimum.

2.4 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Sistem tenaga listrik tidak selamanya berjalan ideal, karena pada kenyataannya akan ada faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya kondisi abnormal seperti adanya gangguan atau terjadinya hubungan singkat. Apabila kondisi abnormal tersebut terjadi maka dapat membahayakan sistem secara keseluruhan baik kinerja sistem maupun kerusakan pada peralatan, sehingga diperlukan adanya sistem proteksi yang dapat meminimalkan efek akibat terjadinya kondisi abnormal tersebut. Fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mengidentifikasi adanya gangguan pada sistem dan memisahkan dari bagian yang terkena gangguan dari sistem yang masih normal sehingga gangguan tidak merusak ke keseluruhan sistem yang dapat merusak dan menimbulkan kerugian yang lebih besar. Gangguan dapat terjadi dimana saja, baik di pembangkit, jaringan transmisi maupun di jaringan distribusi. Dimanapun gangguan itu terjadi, sistem proteksi harus mampu mengidentifikasi dan memisahkan bagian tersebut dari sistem secepat mungkin.

Rele proteksi sebagai komponen utama dari sistem proteksi tenaga listrik harus memiliki beberapa persyaratan keandalan untuk mampu mengidentifikasi gangguan dan beroperasi seideal mungkin. Hal yang harus diperhatikan ketika melakukan analisis untuk *setting* dan koordinasi peralatan pengaman (rele arus lebih dan *circuit breaker*) antara lain:

a. Fungsi Sensitivitas

Peralatan pengaman harus dapat merasakan adanya arus gangguan yang terjadi seminimal mungkin pada titik gangguan terdekat kemudian mengamankannya.

b. Fungsi Selektivitas

Peralatan pengaman harus mampu membedakan antara kondisi abnormal dan kondisi normal. Pengaman harus melakukan *trip* apabila gangguan yang terjadi merupakan kondisi abnormal yang berada dalam zona proteksinya. Sedangkan pengaman tidak boleh bekerja karena adanya gangguan eksternal atau arus beban normal seperti arus starting motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo. Pengaman yang berada paling jauh dari sumber harus tetap mampu merasakan adanya gangguan yang berada di dekat beban, dan operasinya harus menunggu apabila terjadi kegagalan *trip* oleh pengaman yang berada di dekat gangguan.

c. Fungsi Koordinasi

Operasi peralatan pengaman dalam menjalankan kedua fungsi tersebut (fungsi sensitivitas dan fungsi selektivitas) untuk daerah hulu sampai hilir harus dikoordinasikan dari segi *setting* waktu dan *setting* arus. Koordinasi tersebut tidak boleh terjadi adanya beberapa peralatan yang bekerja bersamaan di luar keinginan, misal rele *backup* bekerja bersamaan dengan rele utama, atau waktu pemutusan yang melebihi batas ketahanan peralatan listrik dan lain sebagainya.

Koordinasi waktu antara rele utama dengan rele *backup* berdasar IEEE 242 harus memiliki selisih waktu antara 0,3 detik sampai 0,4 detik, sedangkan untuk rele digital berbasis mikrokontroler perbedaan waktunya lebih singkat, yaitu antara 0,2 detik sampai 0,3 detik. Perbedaan waktu ini bertujuan untuk koordinasi antar rele supaya ketika rele yang berada di sisi hilir telah berhasil operasi, rele yang berada di atasnya tidak beroperasi, sehingga kemungkinan trip serentak dapat dihindarkan.

Rele arus lebih atau OCR adalah rele yang beroperasi ketika arus yang mengalir di rele telah melewati batas yang diizinkan. OCR beroperasi ketika memenuhi beberapa keadaan berikut:

$$\begin{array}{lll} I_f > I_p & \text{rele beroperasi} & (\text{CB trip}) \\ I_f < I_p & \text{rele tidak bekerja} & (\text{blok}) \end{array}$$

dimana

I_p = Arus kerja maksimal dinyatakan dalam sekunder CT

I_f = Arus gangguan dinyatakan terhadap sekunder CT

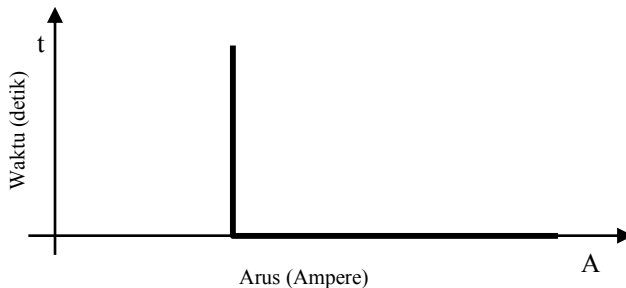
Rele arus lebih ini hampir melindungi seluruh bagian dari sistem tenaga listrik misalnya trafo, generator, motor, dan jaringan transmisi.

2.4.1 Tipe Overcurrent Relay

Rele memiliki beberapa karakteristik dan digunakan untuk *setting* untuk disesuaikan dengan kebutuhan proteksi pada sistem tenaga. Rele arus lebih dibagi menjadi tiga [1], yaitu:

a. Rele Arus Lebih Waktu Instan

Karakteristik dari tipe ini membuat rele beroperasi instan ketika arus mencapai nilai yang telah ditentukan. Prinsip kerja dari rele ini adalah tanpa penundaan waktu tetapi bekerja dengan waktu yang cepat. Kerja rele ini adalah instan pada umumnya bekerja pada 0,08 detik.



Gambar 2.1 Karakteristik OCR Tipe *Definite Current Relay*

Setting rele dipilih sedemikian rupa, rele yang dipasang paling jauh dari bus yang jauh dari sumber akan beroperasi untuk nilai arus kecil dan rele beroperasi bertahap terhadap arus yang meningkat pada tiap bus menuju sumber. Dengan demikian, rele terjauh dari sumber akan beroperasi pertama untuk memutus beban saat terjadi gangguan.

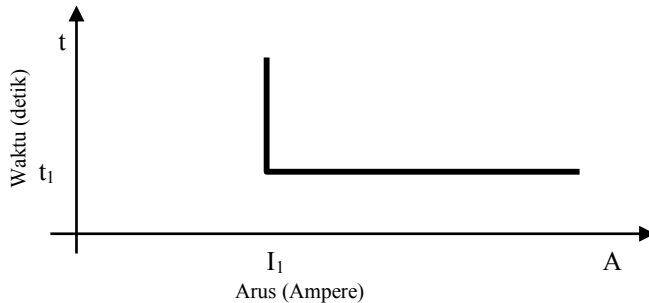
Setting proteksi didasarkan pada kondisi level gangguan maksimum (gangguan hubung singkat tiga fasa), ketika terjadi gangguan dengan nilai arus dibawah arus hubung singkat maksimum, maka rele tidak bekerja. Oleh karena itu, menghilangkan gangguan memerlukan waktu dan dapat membahayakan peralatan. Proteksi *definite current relay* memiliki selektifitas yang rendah pada arus *short-circuit* yang besar. Disisi lain, apabila *setting* rele didasarkan pada arus gangguan pada level yang rendah dapat mengakibatkan beberapa operasi CB tidak berguna pada gangguan yang memiliki level yang lebih tinggi. Melihat dari kekurangan ini, OCR tipe ini tidak digunakan sebagai proteksi tunggal, tetapi OCR tipe ini digunakan sebagai komponen yang bekerja dalam kondisi instan dan dikombinasi dengan tipe proteksi yang lain.

b. Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Pada tipe rele ini, pengaturan dapat dilakukan untuk menangani berbagai level arus dengan menggunakan waktu operasi yang berbeda. Pengaturan dapat disesuaikan sedemikian rupa, rele yang dipasang pada bus terjauh dari sumber adalah rele yang trip lebih dulu, kemudian rele lain akan trip berdasarkan penundaan waktu menuju sumber. Sehingga rele yang paling dekat dengan sumber adalah rele yang trip terakhir.

Proteksi rele *definite time* lebih selektif karena waktu operasi di *setting* dengan nilai tetap. Namun, gangguan yang besar berlokasi dekat

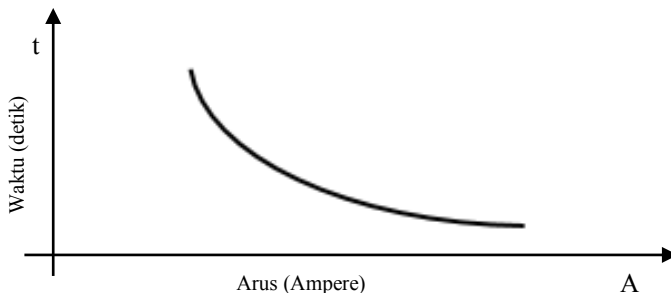
sumber mungkin dapat diatasi dalam waktu yang relatif lama. Rele di *setting* berdasarkan dua parameter, pengaturan *pickup* dan TDS. *Setting pickup* menentukan nilai arus yang diperlukan untuk rele dapat beroperasi dan TDS menentukan waktu yang tepat dari rele beroperasi.



Gambar 2.2 Karakteristik OCR Tipe *Definite Time Relay*

c. Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Rele ini beroperasi dalam waktu yang berbanding terbalik dengan arus gangguan. Semakin besar arus gangguan maka waktu trip semakin kecil. Keuntungan rele *inverse time* yaitu dapat mencapai waktu trip yang lebih cepat tanpa mengambil resiko selektivitas proteksi. Rele ini diklasifikasikan berdasarkan karakteristik kurvanya yang menentukan kecepatan operasi yaitu *inverse*, *very inverse*, atau *extremely inverse*.



Gambar 2.3 Karakteristik OCR Tipe *Inverse Time Relay*

2.5 *Setting* Rele Arus Lebih

OCR memiliki beberapa tipe, sehingga untuk koordinasi yang lebih baik dan akurat, setiap tipe memiliki *setting* yang berbeda sesuai dengan jenis OCR.

2.5.1 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Invers*

Setting OCR bertujuan supaya ketika beban maksimum dalam kondisi normal rele tidak bekerja. Sehingga *Setting* arus pada rele harus sedikit lebih besar dari arus beban maksimum pada kondisi normal. Rele arus lebih memiliki nilai yang harus diatur yaitu pengaturan arus *pickup* dan TDS. Pada rele arus lebih, besar nilai arus *pickup* ditentukan dengan pemilihan *tap* yang berada pada rentang nilai tertentu. Penentuan nilai *tap* yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$tap = \frac{I_{set}}{CT\ primer} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana

I_{set} = Arus *pickup* (Ampere)

Batas *Setting* I_{set} menurut standar *British* BS 142 adalah sebagai berikut:

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,3 \times FLA \dots\dots\dots(2.7)$$

FLA adalah *full load Ampere* atau arus beban maksimum pada kondisi normal.

Setting time dial (TD) digunakan untuk menentukan waktu operasi rele. Penentuan TD dari masing-masing kurva karakteristik *inverse* OCR dapat menggunakan persamaan berikut [14]:

$$top = \frac{k \times TD}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

top = waktu operasi rele (detik)

I = nilai arus yang melewati rele (Ampere)

I_{set} = Arus *pickup* (Ampere)

k = koefisien *inverse* 1

α = koefisien *inverse* 2

β = koefisien *inverse* 3

Tabel 2.2 Koefisien *Inverse Time Dial Setting* OCR SEG XII-I

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	1,000
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,000
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00	1,000

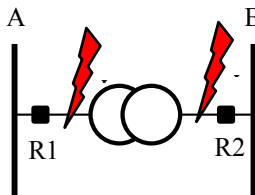
2.5.2 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele ini akan bekerja secara seketika jika ada arus yang mengalir melebihi batas arus yang diizinkan. Penentuan setelan *pickup* ini digunakan arus hubung singkat minimal ($I_{sc \min}$) yaitu arus hubung singkat dua fasa ketika pembangkitan minimum. *Setting* rele ini dirumuskan sebagai berikut:

$$I_{set} \leq 0,866 \times I_{sc \min} \dots\dots\dots(2.9)$$

Pengaman atau CB yang dipisahkan oleh trafo ada pertimbangan khusus. Koordinasi proteksi dibedakan menjadi dua zona, yaitu zona tegangan rendah dan zona tegangan tinggi. *Setting* I_{pickup} ditentukan dengan syarat berikut:

$$I_{sc \max \text{ bus B}} \leq I_{set} \leq 0,866 I_{sc \min A} \dots\dots\dots(2.10)$$



Gambar 2.4 Koordinasi *Iset* untuk Pengaman pada Trafo dimana

$I_{sc \max \text{ bus B}}$ = arus hubung singkat tiga fasa maksimum pada titik B
 $I_{sc \min A}$ = arus hubung singkat minimum pada titik A

2.5.3 Koordinasi berdasarkan Arus dan Waktu

Rele pengaman utama dengan rele pengaman *backup* tidak boleh bekerja dengan waktu yang sama. Oleh karena itu, diperlukan waktu tunda antara rele utama dengan rele *backup*. Waktu tunda sering dikenal

dengan *grading time* (Δt). Besar waktu tunda minimal adalah 0,2 dan maksimal adalah 0,35 detik [12]. Perincian waktu tunda sebesar itu adalah sebagai berikut (standar IEEE 242):

Waktu buka CB : 0,04 – 0,1 detik (2-5 cycle)

Overtravel rele : 0,1 detik

Faktor kemanan : 0,12 – 0,22 detik

Rele berbasis *microprocessor*, *overtravel* rele diabaikan. Sehingga total waktu tunda adalah antara 0,2-0,35 detik.

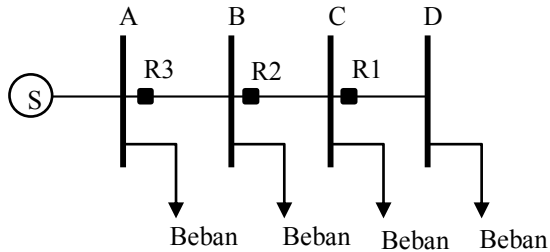
2.6 Koordinasi Proteksi Directional Over-Current Relay (DOCR)

DOCR merupakan OCR yang memiliki sifat mampu memilih karakteristik trip yang berbeda berdasarkan arah arus yang melewatinya. DOCR dapat digunakan sebagai proteksi primer maupun *backup*, ketika menjadi proteksi primer DOCR harus beroperasi ketika mendeteksi gangguan, dan ketika *backup* harus siap beroperasi kapanpun ketika proteksi primer gagal beroperasi. Proteksi *backup* harus diranacang dengan waktu *delay* untuk menunda pengoperasian rele dan memberikan waktu untuk proteksi primer bekerja dahulu.

Masalah utama dari DOCR adalah kompleksitas dalam melakukan koordinasi rele, terutama pada jaringan multisumber. Pengaturan rele yang baru diimplementasikan sebagai beban, level pembangkitan, atau perubahan sistem. Perubahan sistem terdeteksi dengan mengidentifikasi kondisi operasi. Dua perbedaan kondisi operasi yang dipelajari dan dianalisis adalah sistem terdistribusi tanpa dan dengan terhubung DG. Sehingga untuk melindungi sistem, digunakan DOCR karena memiliki peluang untuk menggunakan karakteristik trip yang berbeda (beberapa kelompok pengaturan).

2.6.1 Koordinasi Proteksi Rele pada Sistem Radial

Pada gambar dibawah ini menjelaskan tentang sebuah sistem distribusi radial sederhana, dimana S adalah sumber atau bisa berarti sistem transmisi, R1, R2, dan R3 merupakan rele arus lebih, A, B, C, D adalah bus dari sistem serta beban 1, beban 2, beban 3 dan beban 4 adalah beban yang terdapat dalam sistem pada setiap bus. Ketika terjadi gangguan pada sistem, maka proteksi arus lebih akan beroperasi.



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Radial Sederhana

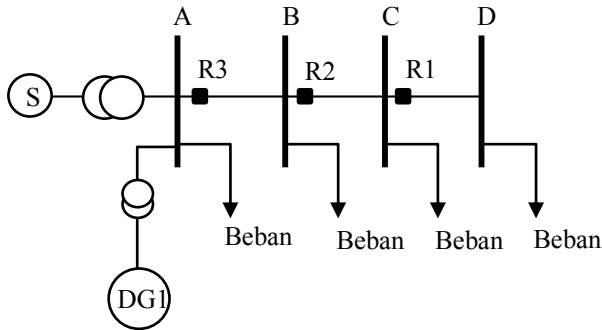
Pada jaringan tersebut, rele 2 bertindak sebagai *backup* rele 1, dan rele 3 bertindak sebagai *backup* rele 2. Perbedaan operasi antara proteksi utama dan proteksi *backup* disebut *coordination time interval* (CTI). CTI bergantung pada beberapa faktor seperti waktu operasi CB, waktu tunda dan lain lain. *Setting* TD untuk rele terjauh (rele 1) dengan TD terendah. Untuk rele 2, jika gangguan terjadi di Line CD, waktu operasi harus lebih besar dari pada waktu operasi rele 1 dengan CTI paling rendah. Untuk rele 3, menggunakan cara yang sama seperti *backup* rele 2 terhadap rele 1.

2.6.2 Koordinasi Proteksi Rele dengan DG

Koordinasi rele diubah dengan adanya DG tergantung pada jumlah, kapasitas dan lokasi DG tersebut. Pada bagian ini akan di tambahkan satu unit DG seperti pada Gambar 2.6.2.

DG akan ditambahkan dan dihubungkan pada bus A. Jika terjadi gangguan pada hilir, sebagai contoh pada line CD, rele 1, rele 2 dan rele 3 akan merasakan gangguan yang terjadi, gangguan itu lebih besar dari pada tanpa DG karena adanya kontribusi arus dari DG1. Kemudian rele akan mengamankan gangguan dan kesensitifannya akan meningkat sebab arus gangguan lebih besar. Disisi lain, jika arus gangguan lebih tinggi dari batas arus yang diizinkan, koordinasi antara rele 1 dan rele 2 mungkin tidak tercapai.

Jika arus gangguan lebih tinggi daripada batas arus yang diizinkan, perbedaan antara waktu operasi rele utama dan rele *backup* akan lebih rendah daripada CTI dan koordinasi mungkin tidak tercapai.



Gambar 2.6 Sistem Distribusi Radial dengan Satu DG Terhubung

2.7 Firefly Algorithm

Pada bidang kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) terdapat istilah *swarm intelligence* yang diartikan sebagai desain algoritma atau alat optimasi terdistribusi yang terinspirasi oleh perilaku sebuah kelompok atau koloni serangga dan binatang. *Firefly Algorithm* (FA) merupakan bagian dari *swarm intelligence*. FA merupakan sebuah algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku berkedip kunang-kunang.

FA dikembangkan oleh Xin-She Yang di Universitas Cambridge pada tahun 2007. Secara umum, FA memiliki kemiripan dengan algoritma lain yang juga didasarkan pada kecerdasan koloni, seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Artificial Bee Colony* (ABC), dan Algoritma *Bacterial Foraging* (BFA). Secara konsep maupun implementasi algoritma *firefly* memang jauh lebih sederhana. FA juga lebih efisien daripada algoritma konvensional seperti algoritma genetika dalam memecahkan masalah optimasi.

Xin-She Yang menuliskan tiga aturan ideal untuk mempermudah dalam memahami algoritma *firefly* [10], yaitu:

1. Semua kunang-kunang unisex, sehingga suatu kunang-kunang akan tertarik pada kunang-kunang yang lain
2. Daya tarik sebanding dengan tingkat kecerahan cahaya kunang-kunang, kunang-kunang dengan tingkat cahaya rendah akan tertarik dan bergerak menuju ke kunang-kunang yang memiliki tingkat kecerahan yang lebih tinggi, kecerahan cahaya kunang-

kunang akan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu dan adanya penyerapan cahaya akibat faktor udara.

3. Intensitas cahaya kunang-kunang ditentukan oleh nilai fungsi objektif dari masalah yang diberikan.

Untuk masalah maksimasi, intensitas cahaya sebanding dengan nilai fungsi objektif.

Secara sederhana, FA dikembangkan mengikuti tiga aturan ideal yang telah diperkenalkan diatas. Langkah dasar dari FA dapat diringkas dalam *pseudo code* yang dituliskan sebagai berikut:

Algoritma Firefly

Fungsi objektif $f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_d)^T$

Buat populasi awal dari *fireflies* \mathbf{x}_i ($i=1, 2, \dots, n$)

Intensitas cahaya I_i pada x_i ditentukan oleh $f(\mathbf{x}_i)$

Menetapkan koefisien penyerapan cahaya γ

while ($t < \text{iterasi maksimal}$)

for $i = 1 : n$ semua n *fireflies*

for $j = 1 : n$ semua n *fireflies*

if ($I_j > I_i$), *firefly* i menuju j pada dimensi \mathbf{d} ; **end if**

 variasi daya tarik dengan jarak r melalui $\exp[-\gamma r]$

 evaluasi solusi baru dan perbaharui intensitas cahaya

end for j

end for i

Susun *fireflies* dan temukan yang terbaik saat ini

end while

Tampilkan hasil proses

diasumsikan bahwa daya tarik dari *firefly* ditentukan oleh cahaya yang dimiliki kelompoknya dengan merumuskan menjadi fungsi objektif.

Di dalam kasus paling sederhana dari masalah optimasi maksimal, terangnya I dari *firefly* pada lokasi \mathbf{x} dapat ditulis $I(\mathbf{x}) \propto f(\mathbf{x})$. Daya tarik β relatif, dilihat dari *firefly* terhadap *firefly* lainnya. Dengan demikian, β akan merubah besar r_{ij} antara *firefly* i dan *firefly* j . Intensitas cahaya akan berubah terhadap jarak dari sumbernya, dan cahaya juga terserap dalam media (udara), dengan demikian daya tarik bervariasi terhadap tingkat penyerapan.

Bentuk sederhana dari variasi intensitas cahaya $I(r)$ berbanding terbalik dengan kuadrat jarak, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana I_s adalah intensitas yang dimiliki sumber. Untuk media tertentu dengan koefisien penyerapan cahaya yang bernilai tetap γ , intensitas cahaya I bervariasi terhadap jarak r .

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana I_0 adalah intensitas cahaya awal. Untuk menghindari nilai $r = 0$ pada persamaan (2.11), maka hasil kombinasi dari perbandingan terbalik kuadrat jarak dan penyerapan dapat didekati dengan bentuk Gaussian.

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

Daya tarik *firefly*'s sebanding dengan intensitas cahaya dilihat dari *firefly* yang berdekatan. Sehingga dapat didefinisikan daya tarik β dari *firefly* oleh persamaan

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana β_0 adalah daya tarik pada saat $r = 0$. Karena menghitung $1/(1+r^2)$ lebih sederhana daripada fungsi eksponensial, rumus diatas jika diperlukan dapat didekati dengan

$$\beta = \frac{\beta_0}{1+\gamma r^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Jika *firefly* berlokasi pada $x'=(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ lebih terang daripada *firefly* yang berlokasi pada $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, *firefly* yang berlokasi di x akan bergerak menuju x' . Setiap perpindahan *firefly* akan melakukan perbaruan kondisi yang berguna mengetahui parameter lain seperti jarak dan daya tarik *firefly* yang baru. Memperbarui lokasi dari *firefly* yang berlokasi di x dapat menggunakan persamaan berikut:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_i^t - x_j^t) + \alpha \varepsilon_i^t \dots\dots\dots(2.16)$$

Istilah terakhir adalah istilah random atau acak dengan α menjadi parameter yang dibuat acak dengan $0 \leq \alpha \leq 1$ dan ε merupakan vektor nilai acak, sedangkan istilah kedua adalah daya tarik dari x terhadap x' .

Algoritma dari FA dapat diringkas sebagai berikut:

1. Buat sebuah set solusi random, $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
2. Hitung intensitas tiap anggota solusi, $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$
3. Setiap *firefly* i bergerak terhadap *firefly* lain yang lebih terang, dan jika tidak ada lagi yang lebih terang, bergerak secara acak
4. Perbaharui set solusi
5. Berhenti jika sudah memenuhi kriteria optimasi yang diinginkan, jika belum maka kembali ke langkah kedua.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

PERANCANGAN SISTEM SIMULASI

3.1 *Modified Firefly Algorithm*

Algoritma *Firefly* (FA) yang ditemukan oleh Xin-She Yang dikembangkan oleh Gokhale [9], untuk menyelesaikan masalah optimasi koordinasi rele proteksi arus lebih berdasar sifat intensitas cahaya kunang-kunang. Dua fungsi pokok dari perilaku unik kunang-kunang yang dapat diambil adalah cahaya digunakan untuk menarik pasangan (komunikasi) dan untuk menarik mangsa.

Modifikasi algoritma *firefly* diusulkan untuk meningkatkan eksplorasi pencarian solusi optimal. Modifikasi yang dilakukan adalah untuk meningkatkan eksplorasi atau keberagaman dari calon solusi optimal, mutasi sederhana berhubungan dengan α dalam persamaan yang diambil dari proses FA. Mutasi yang dilakukan adalah dengan cara mengurangi α dengan sebuah nilai U. Dengan demikian akan meningkatkan hasil optimal dalam menyelesaikan optimasi koordinasi proteksi rele arus lebih. Usulan modifikasi dapat diringkas sebagai *pseudo code* yang tuliskan sebagai berikut:

Modifikasi Algoritma *Firefly*

Fungsi objektif $f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}=(x_1, \dots, x_d)^T$

Buat populasi awal dari *fireflies* \mathbf{x}_i ($i=1, 2, \dots, n$)

Intensitas cahaya I_i pada x_i ditentukan oleh $f(\mathbf{x}_i)$

Menetapkan koefisien penyerapan cahaya γ

while ($t < \text{iterasi maksimal}$)

for $i = 1: n$ semua n *fireflies*

for $j = 1: n$ semua n *fireflies*

if ($I_j > I_i$), *firefly* i menuju j pada dimensi \mathbf{d} ; **end if**

variasi daya tarik dengan jarak r melalui $\exp[-\gamma r]$

perbarui nilai *alfa* melalui pengurangan U tiap iterasi

evaluasi solusi baru dan perbaharui intensitas cahaya

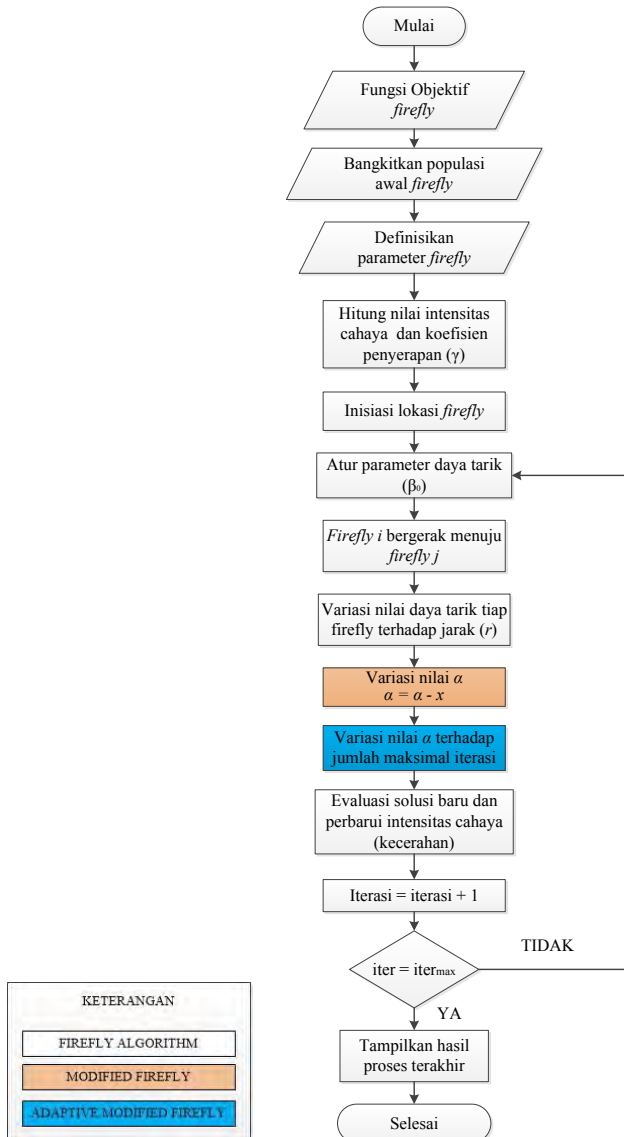
end for j

end for i

Susun *fireflies* dan temukan yang terbaik saat ini

end while

Tampilkan hasil proses



Gambar 3.1 Flowchart FA dan Modifikasinya

3.2 Adaptive Modified Firefly Algorithm

Modifikasi FA baru dilakukan untuk meningkatkan kemampuan efektifitas pencarian nilai optimal. Tujuan dari metode modifikasi ini terdiri dari dua tahap yaitu meningkatkan akurasi dan kecepatan konvergensi dari FA. Modifikasi FA pada bagian awal adalah melakukan pembaruan nilai α sebagai parameter gerak acak pada rentang 0 hingga 1 dengan cara mengurangi dengan nilai tertentu. Berdasarkan persamaan 2.16, nilai α yang besar akan memperbesar nilai acak *firefly* pada daerah yang tidak diketahui dan ketika α kecil akan memaksa *firefly* melakukan pencarian lokal karena pergerakan acak yang kecil. Oleh karena itu digunakan rumus adaptif yang digunakan untuk mengatur nilai α ketika melakukan optimasi [13], rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\alpha^{k+1} = \left(\frac{1}{2k_{maks}} \right)^{\frac{1}{k_{maks}}} \times \alpha^k \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana nilai k adalah urutan iterasi dan k_{maks} adalah maksimal iterasi.

3.3 Sistem Kelistrikan Radial dengan DG

Sebuah sistem dibuat untuk melakukan optimasi koordinasi rele proteksi pada sistem simulasi yang dapat dilihat pada gambar 3.2. Sistem ini sederhana namun dapat mewakili semua kondisi yaitu dengan adanya berbagai jenis pembangkit, berbagai jenis rele dan lain sebagainya. Dalam sistem ini terdapat beberapa koordinasi untuk *setting* nilai *time dial* dan arus *pickup* pada setiap kondisi sistem. Terdapat empat kondisi yang dijelaskan pada Tabel 3.6. Tujuan lain dengan adanya DG adalah meningkatkan kualitas kontinuitas suplai daya pada area tertentu, sehingga sistem tetap berjalan meskipun ada suatu keadaan yang tidak diinginkan.

Pada sistem tersebut terdapat berbagai peralatan distribusi yang digunakan. Peralatan tersebut dapat dilihat pada data peralatan.

3.4 Fungsi Objektif

Metode yang digunakan diaplikasikan pada koordinasi proteksi yang terdiri dari beberapa rele, sehingga fungsi objektifnya adalah:

$$OF = \min \sum_{p=1}^n top_n \dots\dots\dots(3.2)$$

3.5 Data Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan pada simulasi Gambar 3.2 adalah sistem radial dengan DG. Dimana terdapat beberapa generator yang tersebar pada sistem ini. Untuk dapat didistribusikan bersama, maka diperlukan trafo agar tegangan dapat disamakan.

Tabel 3.1 Data Trafo pada Sistem Distribusi

ID	MVA	Primer KV	Sekunder KV	% Z	X / R
T Grid	10	138	13.8	8	15.5

Sedangkan pada sistem ini juga memiliki resistansi dan reaktansi pada jaringan transmisi yang diakibatkan oleh adanya kabel.

Tabel 3.2 Data Kabel pada Sistem Distribusi

ID	Dari (Bus)	Ke (Bus)	R	X
Kabel 1	2	3	0.1344	0.0632
Kabel 2	3	4	0.1344	0.0632

Sistem simulasi kelistrikan ini terdiri dari berbagai macam dan jenis pembangkit. Maka dari itu diperlukan data pembangkit yang digunakan pada sistem untuk kebutuhan koordinasi *setting* rele arus lebih.

3.6 Data Pembangkit

Pada sistem distribusi menggunakan DG ini memiliki beberapa generator yang tersebar, diantaranya Grid, WTG (*Wind Turbine Generator*) pada bus 2, dan Gen1 pada bus 3. Grid yang digunakan pada sistem ini memiliki besar nilai arus hubung singkat maksimum sebesar 248 MVA_{sc}.

Tabel 3.3 Data Pembangkit pada Sistem Kelistrikan

ID	Tipe	Rating Daya (MW)	Rating Tegangan (KV)	PF (%)
Gen1	GTG	4	13.8	85
WTG1	WTG	2.5	13.8	85

3.7 Data Beban pada Sistem Kelistrikan

Selain data distribusi dan data pembangkit, sistem simulasi ini mempunyai beban. Beban yang digunakan adalah jenis *lump load*. Beban jenis ini terdiri dari 80% beban jenis motor dan 20% beban jenis statis.

Tabel 3.4 Data Beban pada Sistem Kelistrikan

ID	Bus	KV	MVA	PF (%)
Lump 1	2	13.8	2.128	99.09
Lump 2	3	13.8	0.775	91.65
Lump 3	4	13.8	1.1	91.65

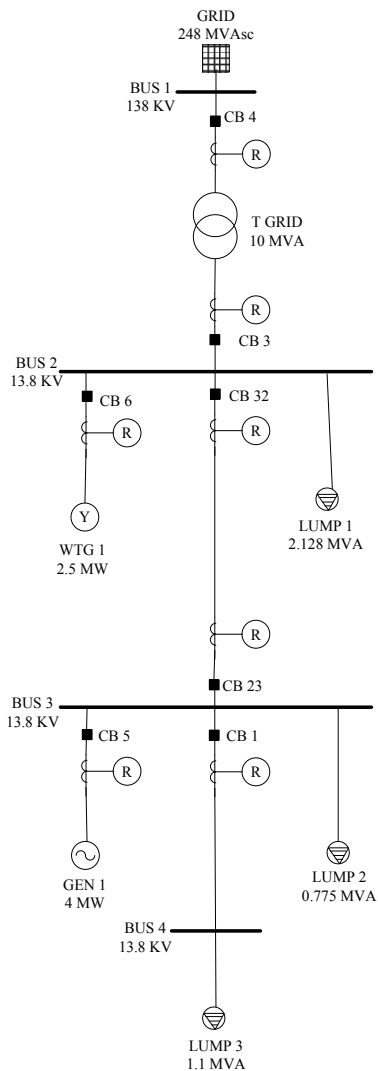
3.8 Data Peralatan Proteksi pada Sistem Kelistrikan

Peralatan proteksi yang dipasang pada sistem simulasi ini berupa rele arus lebih (*overcurrent relay*) yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan. Namun untuk mendeteksi arah gangguan diperlukan rele arah (DOCR) di setiap Line. Berikut ini akan ditampilkan data-data peralatan proteksi yang digunakan beserta nilai CT primer yang terpasang.

Tabel 3.5 Data Peralatan Proteksi pada Sistem Kelistrikan

ID	Tipe	Line	Arah	CT (primer)
R4	OCR	Bus 1 – Trafo Primer	-	50
R3	OCR	Trafo Sekunder – Bus 2	-	450
R32 R23	DOCR	Bus 2 – Bus 3	<i>Reverse</i> <i>Forward</i>	550 100
R1	OCR	Bus 3 – Bus 4	-	50
R5	OCR	Generator 1	-	250
R6	OCR	WTG 1	-	150

Rele yang memiliki arah berlawanan tersebut memiliki fungsi untuk mendeteksi gangguan dari arah *forward* atau *reverse*. Apabila terjadi dari arah yang berbeda, maka *setting* rele harus disesuaikan karena terdapat lebih dari satu pembangkit aktif, sehingga dengan *setting* rele yang tepat sistem akan tetap terjaga kontinuitasnya.



Gambar 3.2 Sistem Kelistrikan Radial dengan DG

3.9 Pemodelan Sistem Kelistrikan dengan Berbagai Kondisi Pembangkit

Dalam suatu sistem tenaga listrik, kondisi pembangkit tidak selalu dalam keadaan normal. Terdapat juga kemungkinan untuk mengalami kondisi-kondisi yang tidak diinginkan seperti matinya salah satu atau beberapa pembangkit yang membuat kondisi sistem akan berubah. Perubahan kondisi sistem ini juga akan mempengaruhi koordinasi pengaman pada sistem. Sehingga diperlukan suatu pengaman adaptif yang mampu merubah koordinasi pengaman disesuaikan dengan kondisi sistem saat ini, sehingga akan mendapatkan koordinasi pengaman yang lebih optimal dan akurat.

Sistem kelistrikan untuk simulasi ini memiliki beberapa kondisi pembangkitan yang mungkin terjadi setiap saat, yang akan dituliskan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pemodelan Kondisi Sistem Kelistrikan

Kondisi	GRID	GEN 1	WTG
Kondisi 1	ON	ON	ON
Kondisi 2	ON	ON	OFF
Kondisi 3	ON	OFF	OFF
Kondisi 4	OFF	ON	ON

Setting rele menggunakan metode manual (*trial and error*) memiliki keuntungan mampu mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan, namun jika terdapat sistem kelistrikan yang begitu besar, metode ini sangat tidak efisien karena memerlukan ketelitian yang tinggi serta waktu yang lama.

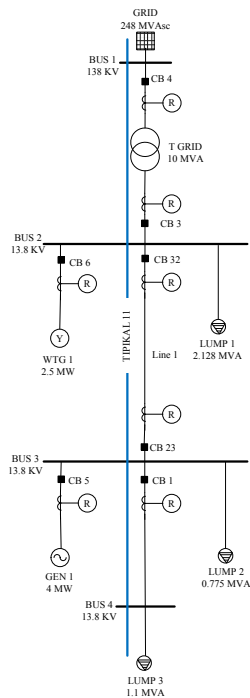
3.9.1 Kondisi 1

Kondisi 1 semua pembangkit beroperasi, sehingga terdapat bagian dari sistem yang perlu diamankan dengan DOCR karena terdapat sumber dari dua arah. Kondisi 1 memiliki dua tipikal, yaitu tipikal 11 dan tipikal 12.

1. Tipikal 11

Jika terdapat gangguan yang melewati *line* 1, maka harus diamankan dengan DOCR karena terdapat tiga sumber yang aktif. Pada tipikal 11 ini di *setting* untuk mengamankan gangguan apabila terjadi

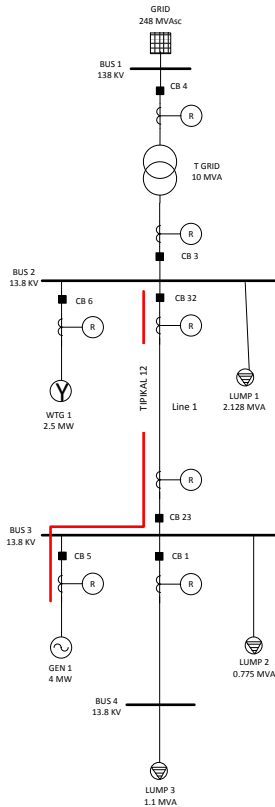
arus hubung singkat pada bus 2, maka rele yang harus bekerja adalah rele 23 dan bekerja *forward*.



Gambar 3.3 Tipikal 11 pada Kondisi 1

2. Tipikal 12

Jika terdapat gangguan yang melewati *line 1*, maka harus diamankan dengan DOCR karena terdapat tiga sumber yang aktif. Pada tipikal 12 ini di *setting* untuk mengamankan gangguan apabila terjadi arus hubung singkat pada bus 3, maka rele yang harus bekerja pada line 1 adalah rele 32 dan bekerja *reverse*.



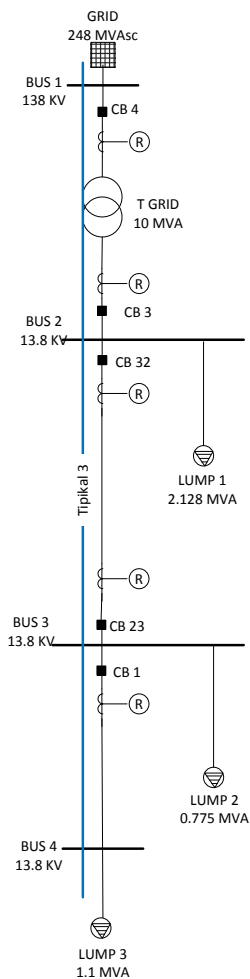
Gambar 3.4 Tipikal 12 pada Kondisi 1

3.9.2 Kondisi 2

Pada kondisi 2 juga terdapat 2 tipikal yang sama dengan kondisi 1. Perbedaannya terdapat pada data yang digunakan untuk *setting* rele. WTG tidak memberikan arus kontribusi untuk gangguan 30 *cycle* namun memberikan arus kontribusi untuk arus hubung singkat maksimum.

3.9.3 Kondisi 3

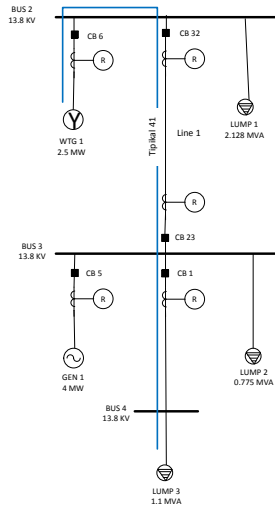
Pada kondisi 3 hanya terdapat 1 tipikal karena sistem pada kondisi 3 ini berbentuk radial dengan satu sumber Grid. Sehingga ketika terjadi gangguan pada bus 2 maka rele pada *line* 1 yang bekerja adalah rele 23.



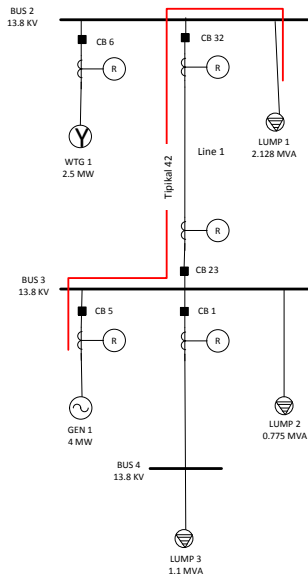
Gambar 3.5 Tipikal pada Kondisi 3

3.9.4 Kondisi 4

Pada kondisi 4 terdapat 2 pembangkit aktif yaitu generator dan WTG sehingga juga terdapat dua tipikal, yaitu tipikal 41 untuk *setting* ketika terdapat gangguan pada bus 2, dan tipikal 42 untuk *setting* ketika terdapat gangguan pada bus 3.



Gambar 3.6 Tipikal 41 pada Kondisi 4



Gambar 3.7 Tipikal 42 pada Kondisi 4

3.10 Perubahan Kondisi Pembangkitan pada Sistem Kelistrikan

Analisis perubahan kondisi pembangkitan dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai pada parameter yang digunakan untuk pengaturan rele. Pengaturan rele menggunakan besarnya arus hubung singkat yang terjadi pada setiap bus. Perubahan kondisi pembangkitan pada sistem mempengaruhi besarnya arus hubung singkat tiap bus. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan dua keadaan, yaitu arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum.

1. Arus Hubung Singkat Maksimum : Arus hubung singkat 3 fasa pada saat $\frac{1}{2}$ cycle, 4 cycle, dan 30 cycle
2. Arus Hubung Singkat Minimum : Arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle

3.10.1 Arus Hubung Singkat Minimum

Arus hubung singkat minimum digunakan sebagai batasan pada pengaturan rele. Arus hubung singkat minimum pada kondisi 1 sama dengan arus hubung singkat pada kondisi 2, karena pada kondisi 1 terdapat tambahan WTG dimana WTG tidak memberikan kontribusi arus hubung singkat minimum atau arus hubung singkat pada saat 30 cycle atau *steady state*.

Tabel 3.7 Arus Hubung Singkat Minimum

	BUS 1	BUS 2	BUS 3	BUS 4
Kondisi 1	964	3770	3690	3530
Kondisi 2	964	3770	3690	3530
Kondisi 3	899	3010	2920	2820
Kondisi 4	0	734	740	734

Pada kondisi 4, arus hubung singkat minimum pada bus 1 bernilai 0 karena pada kondisi 4, bus 1 diasumsikan dalam kondisi tidak terhubung dengan sistem.

3.10.2 Arus Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum digunakan untuk perhitungan waktu operasi rele. Sehingga besar arus hubung singkat ini akan berpengaruh pada kecepatan operasi rele. Pada arus hubung singkat maksimum, kondisi 1 dan kondisi 2 memiliki perbedaan karena WTG memberikan kontribusi arus saat terjadi gangguan $\frac{1}{2}$ cycle – 4 cycle.

Tabel 3.8 Arus Hubung Singkat Maksimum

	BUS 1	BUS 2	BUS 3	BUS 4
Kondisi 1	1050	5350	5190	4910
Kondisi 2	1020	4660	4550	4340
Kondisi 3	962	3760	3640	3500
Kondisi 4	0	2340	2340	2300

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Setting koordinasi proteksi rele berupa *setting* arus dan waktu pada setiap rele untuk mendapatkan selektivitas yang tinggi dalam mengatasi setiap gangguan yang terjadi supaya tidak merusak sistem serta kontinuitas sistem tetap terjaga. Bab ini berisikan hasil perhitungan serta perbandingan koordinasi proteksi pada berbagai kondisi dengan menggunakan cara konvensional dan menggunakan salah satu metode kecerdasan buatan yaitu modifikasi algoritma *firefly*.

4.1 *Setting* Adaptif Rele OCR Menggunakan Metode Konvensional

Setting rele konvensional adalah teknik yang sudah biasa dilakukan oleh para teknisi untuk menghitung koordinasi proteksi. Hasil dari koordinasi proteksi yang adaptif menggunakan cara konvensional nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam menghitung *setting* koordinasi menggunakan metode MFA. Namun meskipun begitu, metode konvensional memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan MFA karena apabila melakukan *resetting* dapat dipastikan memerlukan waktu yang lebih banyak dan itu tidak efisien. Memperhatikan setiap perubahan kondisi sistem berarti apabila terjadi perubahan kondisi sistem, maka koordinasi proteksi juga berubah, sehingga koordinasi pengaman tetap pada kondisi akurat. Memperhatikan perubahan kondisi inilah yang dikatakan sebagai *setting* adaptif karena *setting* dilakukan untuk bersifat adaptif terhadap perubahan sistem.

4.1.1 *Setting* Rele OCR untuk Kondisi 1

Setting rele pada kondisi 1 yaitu ketika semua pembangkit beroperasi. Pada kondisi ini, sistem memiliki arus gangguan paling besar apabila dibandingkan dengan kondisi yang lain.

1. Tipikal 11

» Rele 1

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 46,02 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 46,02 \\48,321 &\leq \text{Iset} \leq 64,428 \\ \frac{48,321}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{64,428}{50} \text{ In} \\0,966 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 1,289 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= \text{In} \\ \text{Iset} &= 1 \times 50 = 50 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = \frac{0,14 \times 0,1}{\left[\left(\frac{4910}{50} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = 0,146$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin} \\1,6 \times 46,02 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3530 \\77,314 &\leq \text{Iset} \leq 2824 \\ \frac{77,314}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{2824}{50} \text{ In} \\1,546 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 56,48 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= 6 \text{ In} \\ \text{I}_{\text{hset}} &= 6 \times 50 = 300 \text{ A} \\ \text{Time delay} &= 0,1 \text{ s}\end{aligned}$$

Rele selanjutnya merupakan rele 23, dimana rele 23 merupakan *backup* dari rele 1. Sehingga waktu operasi diberikan selisih 0,2 detik dengan waktu operasi rele 1 menjadi 0,346 detik. Rele ini merupakan DOCR yang bekerja *forward*.

» Rele 23

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 78,44 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 78,44 \\82,362 &\leq \text{Iset} \leq 109,816 \\ \frac{82,362}{100} \text{In} &\leq \text{tap} \leq \frac{109,816}{100} \text{In} \\0,824 \text{ In} &\leq \text{Iset} \leq 1,098 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= 0,9 \text{In} \\ \text{Iset} &= 0,9 \times 100 = 90 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TD} = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{\text{Iscmax}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = \frac{0,346 \times \left[\left(\frac{5190}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = 0,209$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin} \\1,6 \times 78,44 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3690 \\125,504 &\leq \text{Iset} \leq 2952 \\ \frac{125,504}{100} \text{In} &\leq \text{tap} \leq \frac{2952}{100} \\1,26 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 29,52 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= 6 \text{ In} \\ \text{I}_{\text{hset}} &= 6 \times 100 = 600 \text{ A} \\ \text{Time delay} &= 0,3 \text{ s}\end{aligned}$$

» Rele 3

Manufacture : SEG XI1-I
Curve Type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 450 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$\begin{aligned}
1,05 \times 418,4 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 418,4 \\
439,32 &\leq I_{set} \leq 585,76 \\
\frac{439,32}{450} In &\leq tap \leq \frac{585,76}{450} \\
0,976 In &\leq tap \leq 1,3 In \\
\text{dipilih tap} &= In \\
I_{set} &= 1 \times 450 = 450 \text{ A}
\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,546 \times \left[\left(\frac{5350}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,198$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \\
1,6 \times 418,4 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 3770 \\
669,44 &\leq I_{set} \leq 3016 \\
\frac{811,89}{450} In &\leq tap \leq \frac{3016}{450} \\
1,48 In &\leq tap \leq 6,7 In \\
\text{dipilih tap} &= 6 In \\
I_{hset} &= 6 \times 450 = 2700 \text{ A} \\
\text{Time delay} &= 0,5 \text{ s}
\end{aligned}$$

►► **Rele 4**

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 41,84 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 41,84 \\
43,932 &\leq I_{set} \leq 58,576
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{43,932}{50} In &\leq tap \leq \frac{58,576}{50} In \\
0,879 In &\leq tap \leq 1,17 In \\
\text{dipilih tap} &= 0,9 In \\
I_{set} &= 0,9 \times 50 = 45 A
\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,746 \times \left[\left(\frac{1050}{45} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,347$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \\
1,6 \times 41,84 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 964 \\
66,944 &\leq I_{set} \leq 3016 \\
\frac{66,944}{50} In &\leq tap \leq \frac{3016}{50} \\
1,339 In &\leq tap \leq 15,42 In \\
\text{dipilih tap} &= 6 In \\
I_{hset} &= 6 \times 50 = 300 A \\
\text{Time delay} &= 0,7 s
\end{aligned}$$

» Rele 6

Manufacture : SEG XII-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 150 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 123 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 123 \\
129,15 &\leq I_{set} \leq 172,2 \\
\frac{129,15}{150} In &\leq tap \leq \frac{172,2}{150} In \\
0,861 In &\leq tap \leq 1,148 In
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{dipilih tap} &= 0,9 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 0,9 \times 150 = 135 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,546 \times \left[\left(\frac{5350}{135}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$TD = 0,298$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 123 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 3770$$

$$196,8 \leq I_{set} \leq 3016$$

$$\frac{196,8}{150} \text{ In} \leq tap \leq \frac{3016}{150}$$

$$1,312 \text{ In} \leq tap \leq 20,1 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 6 \text{ In}$$

$$I_{hset} = 6 \times 150 = 900 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,5 \text{ s}$$

2. Tipikal 12

Rele 32 merupakan DOCR yang bekerja *reverse*. Rele ini digunakan untuk mengantisipasi adanya gangguan dari dua arah. Sehingga pengantisipasi gangguan menjadi lebih akurat.

►► **Rele 32**

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 89,03 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 89,03$$

$$93,482 \leq I_{set} \leq 124,642$$

$$\begin{aligned}
\frac{93,482}{100} In &\leq tap \leq \frac{124,642}{100} In \\
0,935 In &\leq tap \leq 1,25 In \\
\text{dipilih tap} &= In \\
I_{set} &= 1 \times 100 = 100 \text{ A}
\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,346 \times \left[\left(\frac{5350}{100} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,205$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \\
1,6 \times 89,03 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 3770 \\
142,448 &\leq I_{set} \leq 3016 \\
\frac{142,448}{100} In &\leq tap \leq \frac{3016}{100} \\
1,425 In &\leq tap \leq 30,16 In \\
\text{dipilih tap} &= 6 In \\
I_{hset} &= 6 \times 100 = 600 \text{ A} \\
\text{Time delay} &= 0,3 \text{ s}
\end{aligned}$$

►► **Rele 5**

Manufacture : SEG XII-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 250 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 196,9 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 196,9 \\
206,75 &\leq I_{set} \leq 275,66 \\
\frac{206,75}{250} In &\leq tap \leq \frac{275,66}{250} In \\
0,827 In &\leq tap \leq 1,1 In
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{dipilih tap} &= 0,9 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 0,9 \times 250 = 225 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,546 \times \left[\left(\frac{5190}{225}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$$

$$TD = 0,253$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 196,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 3690$$

$$315,04 \leq I_{set} \leq 2952$$

$$\frac{315,04}{250} \text{ In} \leq tap \leq \frac{2952}{250}$$

$$1,26 \text{ In} \leq tap \leq 11,808 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 6 \text{ In}$$

$$I_{hset} = 6 \times 250 = 1500 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,5 \text{ s}$$

Hasil *setting* rele arus lebih pada kondisi 1 dapat disimpulkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil *Setting* OCR secara Konvensional pada Kondisi 1

Tipikal	Kondisi	Kondisi 1				
	Setting Rele	I_{hset}	I_{pickup}	CT	TDS	waktu operasi
11	Rele 1	6	1	50	0,100	0,146
	Rele 23	6	0,9	100	0,209	0,346
	Rele 3	6	1	450	0,198	0,546
	Rele 4	6	0,9	50	0,347	0,746
	Rele 6	6	0,9	150	0,298	0,546
12	Rele 32	6	1	100	0,205	0,346
	Rele 5	6	0,9	250	0,253	0,546

4.1.2 Setting Rele OCR untuk Kondisi 2

Pengaturan rele pada kondisi 2 ini adalah ketika sistem sistem beroperasi tanpa WTG. Data pada arus hubung singkat maksimum berubah, sehingga *setting* rele juga harus menyesuaikan. Pada kondisi 2 terdapat dua tipikal yang harus *setting* untuk mengantisipasi masalah DOCR.

1. Tipikal 21

Pada kondisi 2, tipikal 21 memiliki kesamaan dengan tipikal 11 kondisi 1, namun perbedaannya, pada kondisi 2 tidak terdapat WTG dalam sistem.

►► Rele 1

Manufacture : SEG XII-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 46,02 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 46,02$$

$$48,321 \leq \text{Iset} \leq 64,428$$

$$\frac{48,321}{50} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{64,428}{50}$$

$$0,966 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 1,289 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = \text{In}$$

$$\text{Iset} = 1 \times 50 = 50 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{\text{I}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = \frac{0,14 \times 0,1}{\left[\left(\frac{4340}{50} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = 0,150$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin}$$

$$1,6 \times 46,02 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3530$$

$$77,314 \leq \text{Iset} \leq 2824$$

$$\begin{aligned}
\frac{77,314}{50} In &\leq tap \leq \frac{2824}{50} \\
1,546 In &\leq tap \leq 56,48 In \\
\text{dipilih tap} &= 6 In \\
I_{hset} &= 6 \times 50 = 300 A \\
Time delay &= 0,1 s
\end{aligned}$$

Rele selanjutnya adalah rele 23, dimana rele 23 merupakan *backup* dari rele 1. Sehingga waktu operasi diberikan selisih 0,2 detik dengan waktu operasi rele 1. Rele ini merupakan DOCR yang bekerja *forward* untuk gangguan di bus 2.

►► Rele 23

Manufacture : SEG XI1-I
Curve Type : *Standard Inverse Time*
CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 78,44 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 78,44 \\
82,362 &\leq I_{set} \leq 109,816 \\
\frac{82,362}{100} In &\leq tap \leq \frac{109,816}{100} In \\
0,824 In &\leq tap \leq 1,098 In \\
\text{dipilih tap} &= 0,9 In \\
I_{set} &= 0,9 \times 100 = 90 A
\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,350 \times \left[\left(\frac{4550}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,204$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$\begin{aligned}
1,6 \times 78,44 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 3690 \\
125,504 &\leq I_{set} \leq 2952 \\
\frac{125,504}{100} In &\leq tap \leq \frac{2952}{100} In \\
1,26 In &\leq tap \leq 29,52 In \\
\text{dipilih tap} &= 6 In \\
I_{hset} &= 6 \times 100 = 600 A \\
\text{Time delay} &= 0,3 s
\end{aligned}$$

►► Rele 3

Manufacture : SEG XI1-I
Curve Type : Standard Inverse Time
CT Ratio : 450 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times FLA &\leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA \\
1,05 \times 418,4 &\leq I_{set} \leq 1,4 \times 418,4 \\
439,32 &\leq I_{set} \leq 585,76 \\
\frac{439,32}{450} In &\leq tap \leq \frac{585,76}{450} In \\
0,976 In &\leq tap \leq 1,3 In \\
\text{dipilih tap} &= In \\
I_{set} &= 1 \times 450 = 450 A
\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,550 \times \left[\left(\frac{4660}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,188$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times FLA &\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \\
1,6 \times 418,4 &\leq I_{set} \leq 0,8 \times 3770 \\
669,44 &\leq I_{set} \leq 3016 \\
\frac{811,89}{450} In &\leq tap \leq \frac{3016}{450}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
1,48 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 6,7 \text{ In} \\
\text{dipilih tap} &= 6 \text{ In} \\
I_{\text{hset}} &= 6 \times 450 = 2700 \text{ A} \\
\text{Time delay} &= 0,5 \text{ s}
\end{aligned}$$

►► **Rele 4**

Manufacture : SEG XI1-I
Curve Type : *Standard Inverse Time*
CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}
1,05 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
1,05 \times 41,84 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 41,84 \\
43,932 &\leq \text{Iset} \leq 58,576 \\
\frac{43,932}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{58,576}{50} \\
0,879 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 1,17 \text{ In} \\
\text{dipilih tap} &= 0,9 \text{ In} \\
\text{Iset} &= 0,9 \times 50 = 45 \text{ A}
\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{I_{\text{scmax}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,750 \times \left[\left(\frac{1020}{45} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} = 0,345$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}
1,6 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin} \\
1,6 \times 41,84 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 964 \\
66,944 &\leq \text{Iset} \leq 3016 \\
\frac{66,944}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{3016}{50} \text{ In} \\
1,339 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 15,42 \text{ In} \\
\text{dipilih tap} &= 6 \text{ In} \\
I_{\text{hset}} &= 6 \times 50 = 300 \text{ A} \\
\text{Time delay} &= 0,7 \text{ s}
\end{aligned}$$

2. Tipikal 22

Rele 32 yang merupakan DOCR untuk melakukan *setting*, arus beban penuh yang digunakan adalah *lump* 1.

►► Rele 32

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 550 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 89,03 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 89,03$$

$$93,482 \leq \text{Iset} \leq 124,642$$

$$\frac{93,482}{100} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{124,642}{100} \text{ In}$$

$$0,935 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 1,25 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = \text{In}$$

$$\text{Iset} = 1 \times 100 = 100 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{\text{I}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TD} = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{\text{Iscmax}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = \frac{0,350 \times \left[\left(\frac{4660}{100} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = 0,200$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin}$$

$$1,6 \times 89,03 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3770$$

$$142,448 \leq \text{Iset} \leq 3016$$

$$\frac{142,448}{100} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{3016}{100} \text{ In}$$

$$1,425 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 30,16 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 6 \text{ In}$$

$$\text{I}_{\text{hset}} = 6 \times 100 = 600 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,3 \text{ s}$$

►► Relé 5

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 250 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 196,9 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 196,9$$

$$206,75 \leq \text{Iset} \leq 275,66$$

$$\frac{206,75}{250} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{275,66}{250} \text{ In}$$

$$0,827 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 1,1 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 0,9 \text{ In}$$

$$\text{Iset} = 0,9 \times 250 = 225 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{\text{I}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TD} = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{\text{Iscmax}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = \frac{0,550 \times \left[\left(\frac{4550}{225} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = 0,244$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin}$$

$$1,6 \times 196,9 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 3690$$

$$315,04 \leq \text{Iset} \leq 2952$$

$$\frac{315,04}{250} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{2952}{250}$$

$$1,26 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 11,808 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 6 \text{ In}$$

$$\text{I}_{\text{hset}} = 6 \times 250 = 1500 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,5 \text{ s}$$

Hasil *setting* rele arus lebih pada kondisi 2 dapat diringkas dalam sebuah Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil *Setting* OCR secara Konvensional pada Kondisi 2

Tipikal	Kondisi	Kondisi 2				
	Setting Rele	I_{hisset}	I_{pickup}	CT	TDS	waktu operasi
21	Rele 1	6	1	50	0,100	0,150
	Rele 23	6	0,9	100	0,204	0,350
	Rele 3	6	1	450	0,188	0,550
	Rele 4	6	0,9	50	0,345	0,750
22	Rele 32	6	1	100	0,200	0,350
	Rele 5	6	0,9	250	0,244	0,550

4.1.3 *Setting* Rele OCR untuk Kondisi 3

Kondisi 3 merupakan kondisi dimana sistem hanya bergantung pada satu sumber pembangkit, yaitu Grid.

►► **Rele 1**

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 46,02 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 46,02$$

$$48,321 \leq \text{Iset} \leq 64,428$$

$$\frac{48,321}{50} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{64,428}{50}$$

$$0,966 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 1,289 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = \text{In}$$

$$\text{Iset} = 1 \times 50 = 50 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{\text{I}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = \frac{0,14 \times 0,1}{\left[\left(\frac{3500}{50} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{top} = 0,158$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{scmin}}$$

$$1,6 \times 46,02 \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 2820$$

$$77,314 \leq I_{\text{set}} \leq 2256$$

$$\frac{77,314}{50} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{2256}{50}$$

$$1,546 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 45,12 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 10 \text{ In}$$

$$I_{\text{hset}} = 10 \times 50 = 500 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,1 \text{ s}$$

» Rele 23

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 78,44 \leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times 78,44$$

$$82,362 \leq I_{\text{set}} \leq 109,816$$

$$\frac{82,362}{100} \text{ In} \leq \text{tap} \leq \frac{109,816}{100}$$

$$0,824 \text{ In} \leq \text{tap} \leq 1,098 \text{ In}$$

$$\text{dipilih tap} = 0,9 \text{ In}$$

$$I_{\text{set}} = 0,9 \times 100 = 90 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TD} = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{I_{\text{scmax}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = \frac{0,358 \times \left[\left(\frac{3640}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{TD} = 0,196$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin}$$

$$1,6 \times 78,44 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 2920$$

$$125,504 \leq \text{Iset} \leq 2336$$

$$\frac{125,504}{100} \text{In} \leq \text{tap} \leq \frac{2336}{100}$$

$$1,26 \text{In} \leq \text{tap} \leq 23,36 \text{In}$$

$$\text{dipilih tap} = 6 \text{In}$$

$$\text{I}_{\text{hset}} = 6 \times 100 = 600 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,3 \text{ s}$$

» Rele 32

Rele 32 tidak diatur dalam kondisi tiga karena pada kondisi tiga hanya menggunakan satu sumber sehingga tidak diperlukan *setting* DOCR.

» Rele 3

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 450 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 418,4 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 418,4$$

$$439,32 \leq \text{Iset} \leq 585,76$$

$$\frac{439,32}{450} \text{In} \leq \text{tap} \leq \frac{585,76}{450}$$

$$0,976 \text{In} \leq \text{tap} \leq 1,3 \text{In}$$

$$\text{dipilih tap} = \text{In}$$

$$\text{Iset} = 1 \times 450 = 450 \text{ A}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{\text{I}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$\text{TD} = \frac{\text{top} \times \left[\left(\frac{\text{Iscmax}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,558 \times \left[\left(\frac{3760}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,173$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 418,4 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 3010$$

$$669,44 \leq I_{set} \leq 2048$$

$$\frac{811,89}{450} In \leq tap \leq \frac{3016}{450} In$$

$$1,48 In \leq tap \leq 4,55 In$$

$$\text{dipilih tap} = 4 In$$

$$I_{hset} = 4 \times 450 = 1800 A$$

$$\text{Time delay} = 0,5 s$$

►► **Relé 4**

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 41,84 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 41,84$$

$$43,932 \leq I_{set} \leq 58,576$$

$$\frac{43,932}{50} In \leq tap \leq \frac{58,576}{50} In$$

$$0,879 In \leq tap \leq 1,17 In$$

$$\text{dipilih tap} = 0,9 In$$

$$I_{set} = 0,9 \times 50 = 45 A$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,758 \times \left[\left(\frac{962}{45} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,342$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 41,84 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 899$$

$$66,944 \leq I_{set} \leq 719,2$$

$$\frac{66,944}{50} I_n \leq tap \leq \frac{719,2}{50}$$

$$1,339 I_n \leq tap \leq 14,38 I_n$$

$$\text{dipilih tap} = 6 I_n$$

$$I_{hset} = 6 \times 50 = 300 \text{ A}$$

$$\text{Time delay} = 0,7 \text{ s}$$

Hasil *setting* OCR pada kondisi 3 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil *Setting* OCR secara Konvensional pada Kondisi 3

Kondisi	Kondisi 3				
<i>Setting</i> Rele	I_{hset}	I_{pickup}	CT	TDS	t op
Rele 1	6	1	50	0,100	0,158
Rele 23	6	0,9	100	0,196	0,358
Rele 3	4	1	450	0,173	0,558
Rele 4	6	0,9	50	0,342	0,758

4.1.4 *Setting* Rele OCR untuk Kondisi 4

Kondisi ini terjadi ketika tidak ada suplai dari sumber Grid. Sehingga pengaturan untuk kondisi ini perlu dilakukan karena terdapat perubahan arus beban yang dialami oleh bus serta besar arus hubung singkatnya. Pada kondisi 4 diperlukan *setting* DOCR untuk mengatasi gadanya gangguan bus 2 atau bus 3.

1. Tipikal 41

►► Rele 1

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 50 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 46,02 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 46,02 \\48,321 &\leq \text{Iset} \leq 64,428 \\ \frac{48,321}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{64,428}{50} \text{ In} \\0,966 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 1,289 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= \text{In} \\ \text{Iset} &= 1 \times 50 = 50 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$\text{top} = \frac{0,14 \times \text{TD}}{\left[\left(\frac{I}{\text{Iset}}\right)^{0,02} - 1\right]}$$

$$\text{top} = \frac{0,14 \times 0,1}{\left[\left(\frac{2300}{50}\right)^{0,02} - 1\right]} = 0,176$$

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}1,6 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin} \\1,6 \times 46,02 &\leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 734 \\77,314 &\leq \text{Iset} \leq 587,2 \\ \frac{77,314}{50} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{587,2}{50} \\1,546 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 11,74 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= 6 \text{ In} \\ \text{I}_{\text{hset}} &= 6 \times 50 = 300 \text{ A} \\ \text{Time delay} &= 0,1 \text{ s}\end{aligned}$$

►► **Rele 23**

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 78,44 &\leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 78,44 \\82,362 &\leq \text{Iset} \leq 109,816 \\ \frac{82,362}{100} \text{ In} &\leq \text{tap} \leq \frac{109,816}{100} \\0,824 \text{ In} &\leq \text{tap} \leq 1,098 \text{ In} \\ \text{dipilih tap} &= 0,9 \text{ In} \\ \text{Iset} &= 0,9 \times 100 = 90 \text{ A}\end{aligned}$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,376 \times \left[\left(\frac{2340}{90} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,181$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 78,44 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 746$$

$$125,504 \leq I_{set} \leq 596,8$$

$$\frac{125,504}{100} In \leq tap \leq \frac{596,8}{100}$$

$$1,26 In \leq tap \leq 5,97 In$$

$$\text{dipilih tap} = 5 In$$

$$I_{hset} = 5 \times 100 = 500 A$$

$$\text{Time delay} = 0,3 s$$

►► **Rele 6**

Manufacture : SEG XII-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 150 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 123 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 123$$

$$129,15 \leq I_{set} \leq 172,2$$

$$\frac{129,15}{150} In \leq tap \leq \frac{172,2}{150}$$

$$0,861 In \leq tap \leq 1,148 In$$

$$\text{dipilih tap} = 0,9 In$$

$$I_{set} = 0,9 \times 150 = 135 A$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,576 \times \left[\left(\frac{2340}{135} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,242$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 123 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 734$$

$$196,8 \leq I_{set} \leq 587,2$$

$$\frac{196,8}{150} In \leq tap \leq \frac{587,2}{150}$$

$$1,31 In \leq tap \leq 3,91 In$$

$$\text{dipilih tap} = 3 In$$

$$I_{hset} = 3 \times 150 = 450 A$$

$$\text{Time delay} = 0,5 s$$

2. Tipikal 42

►► Rele 32

Manufacture : SEG XI1-I

Curve Type : *Standard Inverse Time*

CT Ratio : 100 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 89,03 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 89,03$$

$$93,48 \leq I_{set} \leq 124,64$$

$$\frac{93,48}{100} In \leq tap \leq \frac{124,64}{100} In$$

$$0,935 In \leq tap \leq 1,246 In$$

$$\text{dipilih tap} = 1 In$$

$$I_{set} = 1 \times 100 = 100 A$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,376 \times \left[\left(\frac{2340}{100} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,175$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 89,03 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 734$$

$$142,45 \leq I_{set} \leq 587,2$$

$$\frac{142,45}{100} In \leq tap \leq \frac{587,2}{100} In$$

$$1,425 In \leq tap \leq 5,872 In$$

$$\text{dipilih tap} = 5 In$$

$$I_{hset} = 5 \times 100 = 500 A$$

$$\text{Time delay} = 0,3 s$$

►► **Rele 5**

Manufacture : SEG XII-I

Curve Type : Standard Inverse Time

CT Ratio : 250 / 1

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times FLA \leq I_{set} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 196,9 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 196,9$$

$$206,75 \leq I_{set} \leq 275,66$$

$$\frac{206,75}{250} In \leq tap \leq \frac{275,66}{250}$$

$$0,827 In \leq tap \leq 1,1 In$$

$$\text{dipilih tap} = 0,9 In$$

$$I_{set} = 0,9 \times 250 = 225 A$$

Time Dial

$$top = \frac{0,14 \times TD}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}$$

$$TD = \frac{top \times \left[\left(\frac{I_{scmax}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = \frac{0,576 \times \left[\left(\frac{2340}{225} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$TD = 0,197$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times FLA \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$$

$$1,6 \times 196,9 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 746$$

$$315,04 \leq I_{set} \leq 596,8$$

$$\frac{315,04}{250} In \leq tap \leq \frac{596,8}{250}$$

$$1,26 In \leq tap \leq 2,39 In$$

$$\text{dipilih tap} = 2 In$$

$$I_{hset} = 2 \times 250 = 500 A$$

$$Time\ delay = 0,3 s$$

Hasil *setting* rele arus lebih pada kondisi 4 dapat diringkas dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil *Setting* OCR secara Konvensional pada Kondisi 4

Tipikal	Kondisi	Kondisi 4				
	<i>Setting</i> Rele	I_{hset}	I_{pickup}	CT	TDS	waktu operasi
41	Rele 1	6	1	50	0,100	0,176
	Rele 23	4	0,9	100	0,181	0,376
	Rele 6	3	0,9	150	0,242	0,576
42	Rele 32	5	1	100	0,175	0,376
	Rele 5	2	0,9	250	0,197	0,576

Hasil *setting* OCR dengan teknik konvensional dalam berbagai kondisi diatas secara keseluruhan merupakan hasil yang optimal menurut teknik konvensional, dari hasil *setting* tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada kondisi 1 dan kondisi 2, WTG tidak memberikan arus kontribusi hubung singkat minimum, sehingga ketika WTG dilepas maupun dipasang, arus hubung singkat minimum dari sistem akan bernilai sama.
2. Rele 1 bekerja untuk melindungi sistem jika ada gangguan beban lebih atau arus hubung singkat pada bus 4. *Inrush* trafo berada diatas waktu *instan* rele 1 yaitu lebih dari 0,1 detik namun tidak akan mengganggu kinerja rele 1, karena proses *energize* trafo dilakukan ketika semua rele dalam kondisi terbuka, atau dapat dikatakan sistem belum beroperasi.
3. Rele pada generator dan WTG *disetting* untuk mengamankan jika ada gangguan pada generator dan WTG. Jika ada gangguan hubung singkat pada suatu bus atau gangguan beban lebih, rele dari generator dan WTG tidak *disetting* untuk bekerja cepat, karena masih ada rele lain yang mengamankan kondisi gangguan tersebut, maka terdapat kemungkinan gangguan telah dilokalisasi oleh rele lain sehingga generator dan WTG tetap dapat beroperasi normal.
4. Masih diperlukan beberapa *resetting* untuk memperbaiki hasil dari perhitungan secara manual.

4.2 Adaptif Koordinasi Proteksi Rele Arus Lebih Menggunakan *Modified Firefly Algorithm*

FA asli memiliki kemampuan untuk mencari nilai intensitas cahaya dari kunang kunang yang lebih terang. Namun FA memiliki nilai random yang terkadang malah mengganggu atau memperlambat proses pencarian. Oleh karena itu, modifikasi FA ini bertujuan untuk mempercepat pencarian fungsi objektif yang diinginkan. Modifikasi dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. *Modified Firefly Algorithm*: melakukan perubahan atau pembaruan nilai α pada setiap iterasi dengan cara mengurangi nilai α sebesar 0,001 setiap iterasinya.
2. *Adaptif Modified Firefly Algorithm*: nilai α diadaptifkan terhadap nilai iterasi maksimal yang digunakan.

Batasan yang diberikan pada kondisi ini adalah:

1. Waktu minimal rele 1 adalah 0,1 detik
2. Waktu tunda untuk rele *backup* minimal 0,2 detik
3. Waktu minimal pada rele pada generator sebesar 0,5 detik

Data *setting* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- $\alpha_0 = 0,1$
- $\beta_0 = 0,3$
- $\gamma = 1$
- Iterasi maksimal = 100

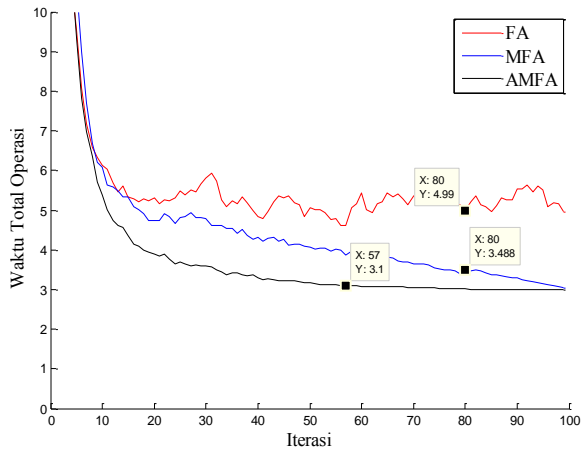
4.2.1 *Setting* OCR dengan AI pada Kondisi 1

Kondisi 1 adalah kondisi semua pembangkit beroperasi, Grid, Generator 1 dan WTG. Hasil dari *setting* menggunakan AI pada kondisi 1 dapat dilihat pada Tabel 4.5. Optimasi yang dilakukan berupa I_{pickup} dan TDS.

Tabel 4.5 Hasil *Setting* OCR menggunakan AI pada Kondisi 1

	Kondisi 1						
	FA		MFA		AMFA		SEMUA
	I_{pickup}	TDS	I_{pickup}	TDS	I_{pickup}	TDS	$I_{highset}$
Tipikal 11							
R1	0,969	0,236	0,967	0,105	0,966	0,101	6
R23	0,825	0,357	0,824	0,219	0,824	0,214	6
R3	0,977	0,323	0,976	0,204	0,976	0,200	6
R4	0,883	0,571	0,879	0,357	0,879	0,350	6
R6	0,862	0,488	0,861	0,306	0,861	0,302	6
Total		1,975		1,191		1,167	
Tipikal 12							
R32	0,936	0,334	0,935	0,213	0,935	0,209	6
R5	0,828	0,446	0,827	0,264	0,827	0,260	6
Total		0,780		0,477		0,469	

Dapat dilihat pada Tabel 4.5 bahwa total nilai TDS pada setiap metode memiliki hasil yang berbeda. Total nilai TDS pada kondisi 1 tipikal 11 menggunakan metode FA adalah 1,975 detik, metode MFA adalah 1,191 detik, dan metode AMFA yang bersifat adaptif, akan lebih memperkecil nilai total TDS menjadi 1,167 detik. Selain itu, nilai I_{pickup} juga lebih optimal ketika menggunakan metode AMFA meskipun selisihnya tidak besar bahkan terkadang sama dengan MFA.



Gambar 4.1 Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 1

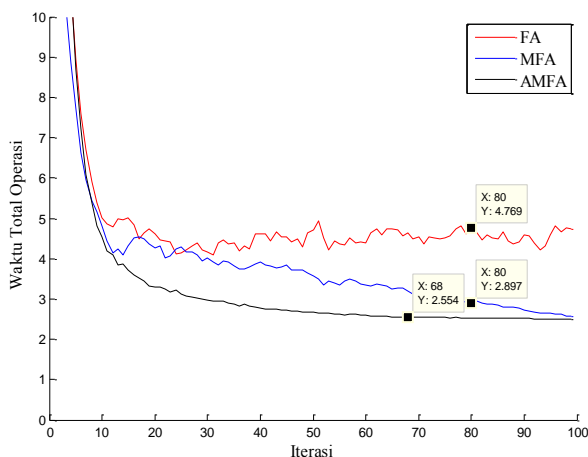
4.2.2 Setting OCR dengan AI pada Kondisi 2

Kondisi 2 adalah kondisi sistem kehilangan WTG, dengan kata lain WTG pada sistem tidak beroperasi. Meskipun kehilangan WTG, gangguan arus hubung singkat minimum akan sama dengan kondisi 1, karena WTG tidak memberikan kontribusi arus hubung singkat minimum. Namun, memberikan nilai arus hubung singkat maksimum.

Tabel 4.6 Hasil *Setting* OCR menggunakan AI pada Kondisi 2

	Kondisi 2						
	FA		MFA		AMFA		SEMUA
	I _{pickup}	TDS	I _{pickup}	TDS	I _{pickup}	TDS	I _{highset}
Tipikal 21							
R1	0,970	0,257	0,967	0,106	0,966	0,101	6
R23	0,826	0,401	0,824	0,214	0,824	0,209	6
R3	0,977	0,371	0,976	0,194	0,976	0,190	6
R4	0,883	0,526	0,879	0,354	0,879	0,349	6
Total		1,555		0,868		0,849	
Tipikal 22							
R32	0,937	0,329	0,935	0,208	0,935	0,204	6
R5	0,828	0,434	0,827	0,256	0,827	0,251	6
Total		0,763		0,464		0,455	

Seperti yang dijelaskan sebelumnya tentang besar arus gangguan memiliki pengaruh terhadap sistem. Oleh karena arus hubung singkat juga mempengaruhi *setting* pengaman pada sistem, yaitu arus hubung singkat maksimum berpengaruh pada nilai TDS sedangkan nilai arus hubung singkat minimum berpengaruh pada $I_{highset}$. Pada Tabel dapat dilihat akibat nilai arus hubung singkat minimum yang tetap maka *setting* $I_{highset}$ pada kondisi 1 dan kondisi 2 tidak mengalami perubahan. Namun karena nilai arus hubung singkat maksimum berubah lebih kecil, maka nilai TDS berubah semakin kecil pula.



Gambar 4.2 Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 2

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa waktu total operasi rele menjadi lebih kecil daripada kondisi 1, hal itu disebabkan karena tidak adanya WTG akan memperkecil nilai arus hubung singkat maksimum. Nilai TDS pada kondisi 2 juga lebih kecil, ketika menggunakan AMFA rata-rata nilai TDS pada kondisi 2 adalah 0,212 detik sedangkan pada kondisi 1 adalah 0,233 detik.

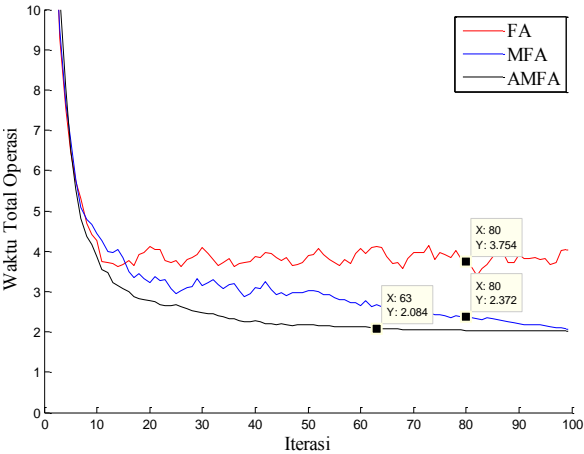
4.2.3 *Setting* OCR dengan AI pada Kondisi 3

Kondisi ini adalah satu-satunya kondisi dimana sistem hanya memiliki satu pembangkit, yaitu dari Grid. *Setting* dengan kondisi seperti ini akan lebih mudah karena sistem hanya terdiri dari satu tipikal. Kondisi 3 perlu *disetting* karena arus gangguan hubung singkat yang

dimilikinya berbeda dengan yang lain. Namun pada kondisi 3, rele 32 tidak *disetting* karena kondisi ini tidak memiliki kemungkinan arus dari dua arah, karena hanya memiliki satu sumber.

Tabel 4.7 Hasil *Setting* OCR menggunakan AI pada Kondisi 3

	Kondisi 3						
	FA		MFA		AMFA		SEMUA
	I _{pickup}	TDS	I _{pickup}	TDS	I _{pickup}	TDS	I _{highset}
R1	0,970	0,276	0,967	0,106	0,966	0,101	6
R23	0,825	0,333	0,824	0,207	0,824	0,202	6
R3	0,977	0,283	0,976	0,178	0,976	0,175	5,35
R4	0,883	0,544	0,879	0,351	0,879	0,346	6
Total		1,436		0,842		0,824	



Gambar 4.3 Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 3

Pada kondisi 3, karena memiliki arus gangguan yang lebih kecil daripada kondisi 1 dan kondisi 2, maka TDS dan I_{highset} pada kondisi ini juga lebih kecil dari kondisi 1 dan kondisi 2. Untuk nilai I_{highset} pada rele 23 menjadi lebih kecil yaitu 5,35. Sedangkan rata-rata TDS pada kondisi ini juga lebih kecil yaitu 0,359 detik pada metode FA, 0,211 detik pada metode MFA dan 0,206 detik pada metode AMFA.

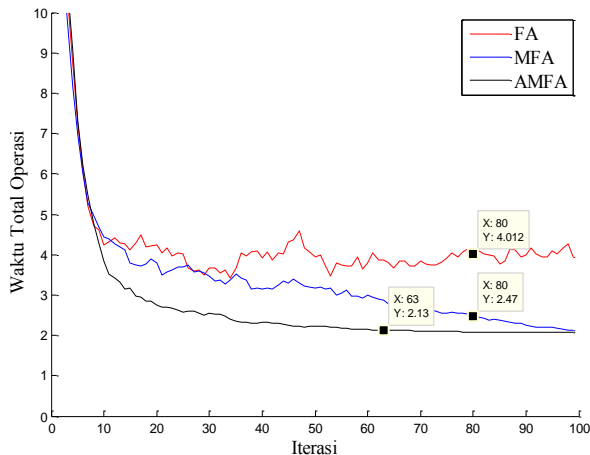
4.2.4 Setting OCR dengan AI pada Kondisi 4

Kondisi 4 merupakan kondisi tanpa Grid sehingga arus gangguan hubung singkat pada kondisi 4 jauh lebih kecil daripada kondisi yang lain. Perbedaan arus gangguan hubung singkat yang besar membuat kondisi ini memiliki *setting* yang jauh berbeda daripada kondisi lain. Nilai TDS serta nilai $I_{highset}$ lebih kecil daripada kondisi lain. Kondisi ini mengandalkan 2 pembangkit tersebar yang aktif yaitu WTG dan Generator 1, sehingga kontinuitas sistem tetap terjaga.

Tabel 4.8 Hasil *Setting* OCR menggunakan AI pada Kondisi 4

	Kondisi 4						
	FA		MFA		AMFA		SEMUA
	I_{pickup}	TDS	I_{pickup}	TDS	I_{pickup}	TDS	$I_{highset}$
Tipikal 41							
R1	0,968	0,185	0,967	0,105	0,966	0,101	6
R23	0,826	0,379	0,824	0,191	0,824	0,186	5,92
R3	-	-	-	-	-	-	-
R4	-	-	-	-	-	-	-
R6	0,862	0,425	0,861	0,251	0,861	0,246	3,91
Total		0,989		0,547		0,533	
Tipikal 42							
R32	0,936	0,330	0,935	0,183	0,935	0,179	5
R5	0,828	0,347	0,827	0,210	0,827	0,205	2,37
Total		0,677		0,393		0,384	

Oleh karena kondisi 4 memiliki arus gangguan hubung singkat yang kecil, maka nilai TDS dan nilai $I_{highset}$ juga lebih kecil. Rata-rata nilai TDS pada kondisi 4 menggunakan metode FA, MFA dan AMFA secara berturut-turut adalah sebagai berikut 0,330 detik, 0,182 detik, dan 0,178 detik. Nilai $I_{highset}$ pada kondisi 4 juga semakin kecil, semua bernilai kurang dari 6, kecuali pada rele 1 yang masih diatas 6 sehingga $I_{highset}$ *diseting* 6.



Gambar 4.4 Kurva Perbandingan Konvergensi Metode AI pada Kondisi 4

Kesimpulan dari modifikasi *firefly algorithm* adalah sebagai berikut:

- Pada FA asli, inisiasi nilai α di awal tidak berubah hingga akhir iterasi. Nilai α besar menyebabkan pencarian dilakukan terlalu mengeksplorasi daerah yang belum diketahui. Sedangkan nilai α kecil memaksa melakukan pencarian secara lokal.
- Memperkecil nilai α sejak awal iterasi bukanlah sebuah pilihan yang baik karena memperkecil nilai α hampir sama dengan menghilangkan perpindahan acak *firefly*, padahal perpindahan acak ini memiliki keuntungan tersendiri, yaitu dengan memiliki perpindahan secara acak bisa jadi *firefly* dapat menemukan koordinasi yang lebih baik.
- Pada metode MFA, modifikasi dengan cara pembaruan nilai α dengan cara mengurangi oleh suatu nilai tidak mampu mendapatkan konvergensi yang maksimal karena ketika nilai iterasi maksimal diperkecil maka konvergensi waktu operasi bisa jadi tidak ditemukan.
- Pada metode AMFA, modifikasi adaptif nilai α akan sangat membantu permasalahan tersebut, meskipun *firefly* memiliki nilai acak tetapi *firefly* tetap mampu menuju titik optimal karena nilai α akan berubah terhadap jarak.

4.3 Hasil *Setting Waktu Operasi Metode Konvensional dan Metode Optimasi*

Kondisi koordinasi optimal adalah ketika salah satu dari parameter yang dioptimalkan (TDS, arus *pickup*, waktu operasi) mencapai minimum. Selanjutnya akan ditampilkan hasil *setting* waktu trip dari metode konvensional dan metode AI yang diusulkan.

Tabel 4.9 Hasil *Setting Tripping Time* Metode Konvensional dan Optimasi

Kondisi		I_{fault} (Ampere)	Konv (s)	FA (s)	MFA (s)	AMFA (s)	waktu instan
Kondisi 1	R1	300	0,384	0,906	0,403	0,388	0,1
	R23	600	0,757	1,292	0,793	0,775	0,3
	R3	2700	0,760	1,239	0,783	0,767	0,5
	R4	300	1,256	2,067	1,292	1,267	0,5
	R6	900	1,079	1,767	1,108	1,093	0,7
	R32	600	0,787	1,282	0,817	0,802	0,3
	R5	1500	0,914	1,615	0,956	0,941	0,5
Kondisi 2	R1	300	0,384	0,986	0,407	0,388	0,1
	R23	600	0,757	1,452	0,775	0,757	0,3
	R3	2700	0,721	1,424	0,744	0,729	0,5
	R4	300	1,249	1,904	1,282	1,264	0,5
	R32	600	0,767	1,262	0,798	0,783	0,3
	R5	1500	0,883	1,571	0,927	0,909	0,7
Kondisi 3	R1	300	0,384	1,059	0,407	0,388	0,1
	R23	600	0,710	1,206	0,749	0,731	0,3
	R3	1800	0,710	1,162	0,731	0,718	0,5
	R4	300	1,238	1,969	1,271	1,253	0,5
Kondisi 4	R1	300	0,384	0,710	0,403	0,388	0,1
	R23	592	0,660	1,382	0,697	0,678	0,3
	R6	596,5	1,136	1,996	1,179	1,155	0,5
	R32	500	0,749	1,412	0,783	0,766	0,3
	R5	592,5	1,410	2,484	1,439	1,468	0,5

Tabel 4.9 menjelaskan waktu trip untuk gangguan beban lebih dan hubung singkat, gangguan hubung singkat menggunakan waktu trip instan sedangkan beban lebih yang ditampilkan adalah waktu trip untuk gangguan arus beban lebih maksimal yang diatasi oleh kurva *invers*.

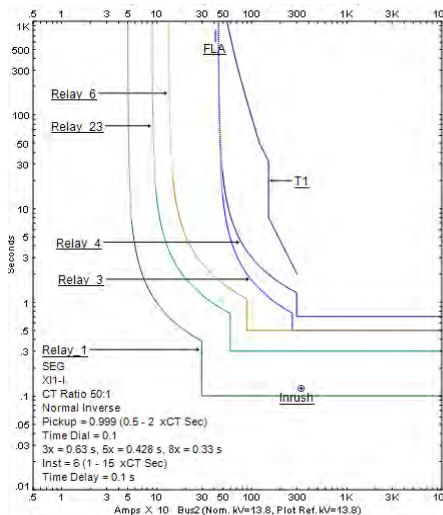
4.4 Analisis Hasil Plot Koordinasi Proteksi dengan Metode Konvensional dan *Modified Firefly Algorithm*

Perbandingan hasil *setting* dilakukan untuk melihat kemampuan dari metode kecerdasan buatan yang digunakan. Kemudian dari berbagai metode kecerdasan buatan yang digunakan, ditentukan metode yang paling optimal dalam melakukan *setting* koordinasi rele yang bersifat adaptif dalam berbagai kondisi perubahan sistem, sehingga sistem pengaman lebih akurat. Dibawah ini akan ditampilkan hasil plot dari *setting* pada berbagai kondisi serta metode yang digunakan. Pada plot tersebut akan terlihat hasil optimal dari metode kecerdasan buatan dan juga menggunakan metode konvensional serta pengaruh perubahan kondisi sistem terhadap hasil koordinasi OCR.

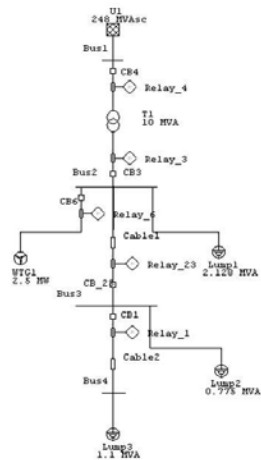
4.4.1 Hasil Plot dari *Setting* pada Kondisi 1

1. Tipikal 11

Pada tipikal 11 kondisi 1, digunakan untuk mengatasi gangguan yang menuju sumber Grid, sehingga DOCR yang bekerja adalah rele 23 beroperasi *forward*.

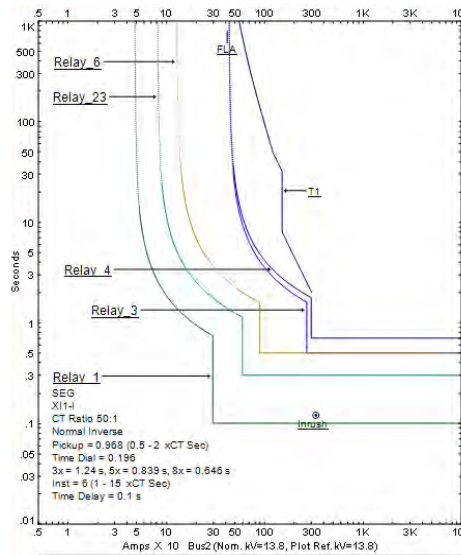


(a)

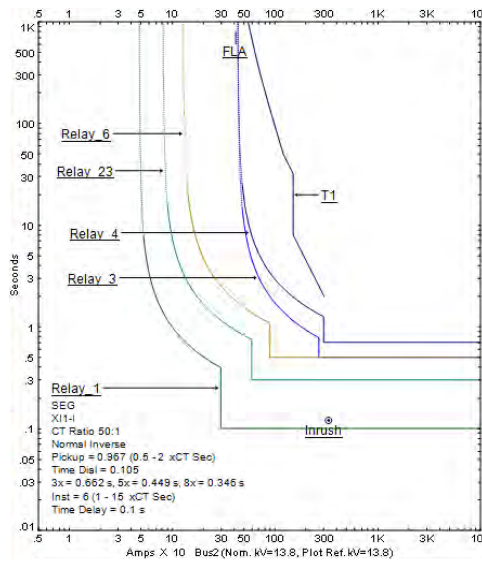


(b)

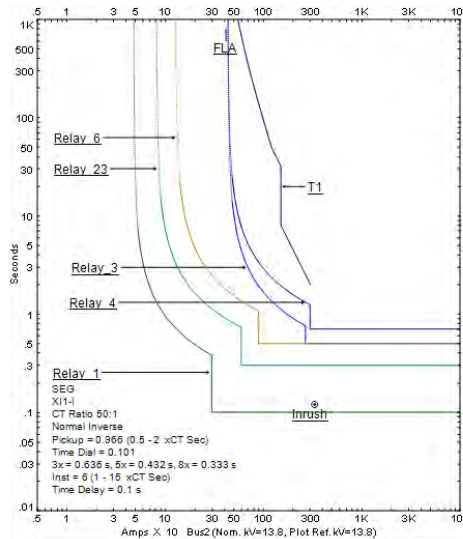
Gambar 4.5 (a) Hasil Plot dari *Setting* OCR Metode Manual Tipikal 11 pada Kondisi 1 dan (b) Plant Kondisi 1 Tipikal 11



Gambar 4.6 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 11 Kondisi 1



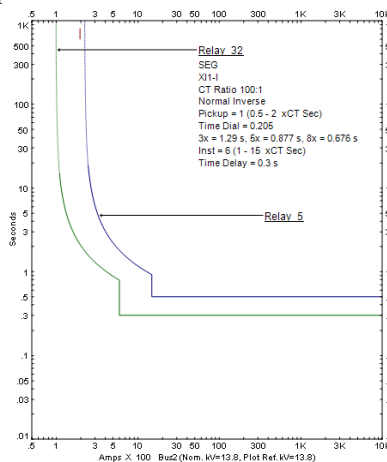
Gambar 4.7 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 11 Kondisi 1



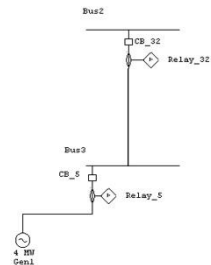
Gambar 4.8 Hasil Plot *Setting* OCR Metode AMFA Tipikal 11 Kondisi 1

2. Tipikal 12

Pada tipikal 12 kondisi 1, DOCR yang bekerja adalah rele 32 beroperasi *reverse*.

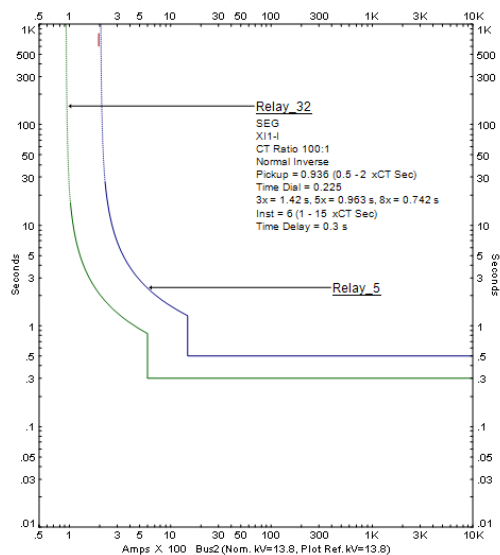


(a)

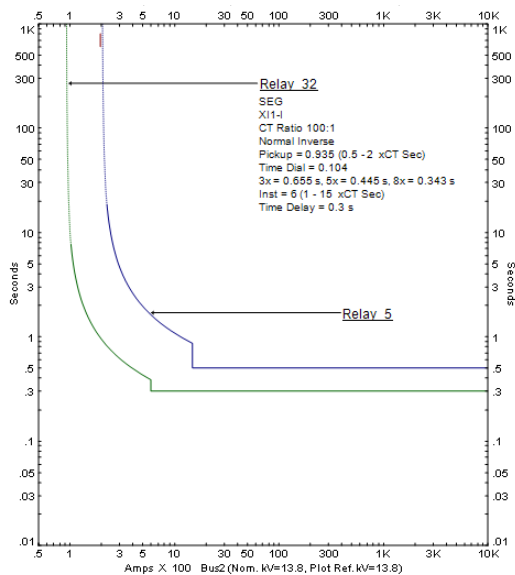


(b)

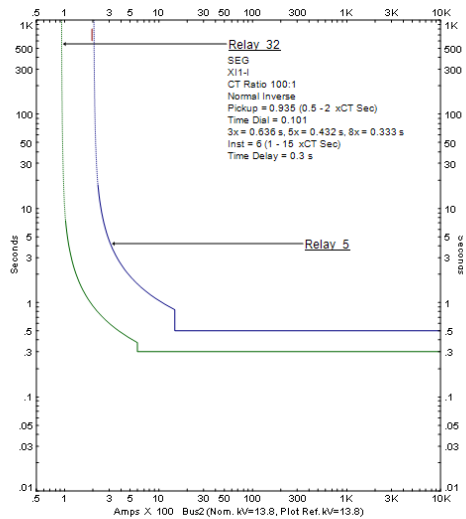
Gambar 4.9 (a) Hasil plot dari *setting* OCR metode manual tipikal 12 pada kondisi 1, dan (b) Plant kondisi 1 tipikal 12



Gambar 4.10 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 12 Kondisi 1



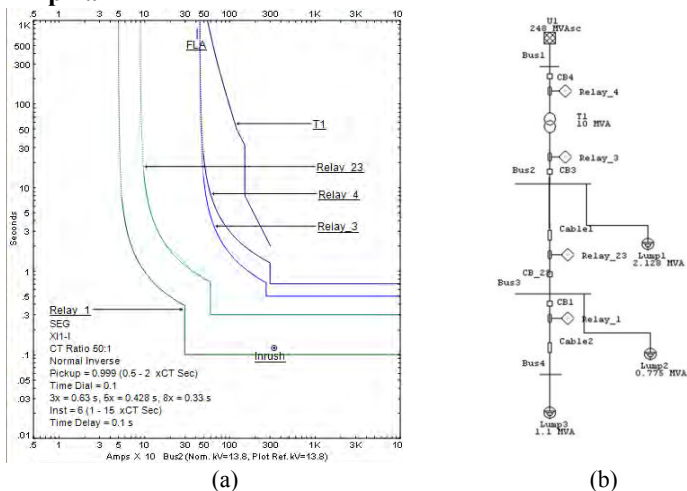
Gambar 4.11 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 12 kondisi 1

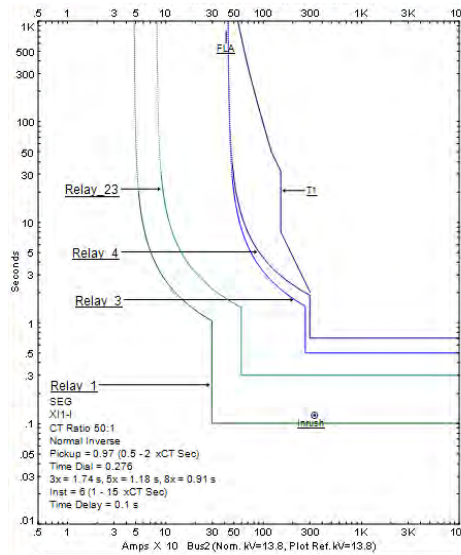


4.4.2 Hasil Plot dari *Setting* pada Kondisi 2

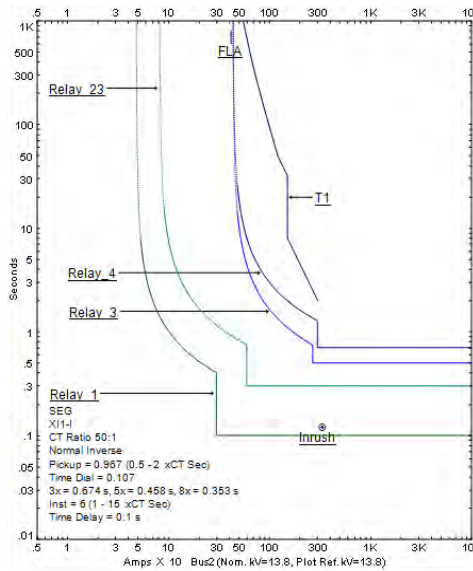
Kondisi 2 merupakan kondisi WTG tidak terpasang pada sistem.

1. Tipikal 21

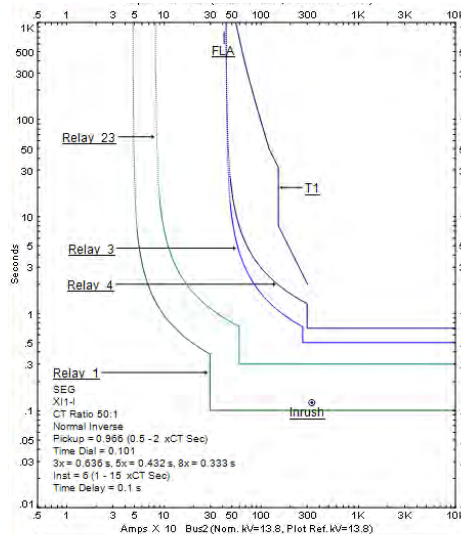




Gambar 4.14 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 21 Kondisi 2

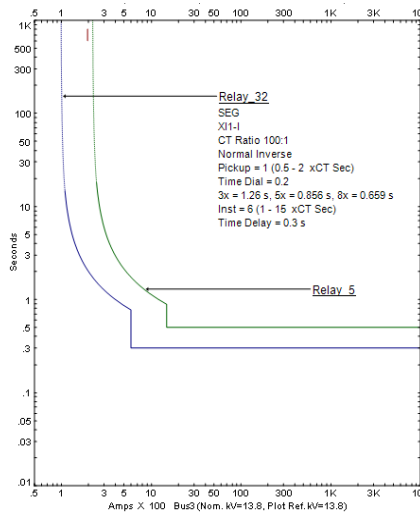


Gambar 4.15 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 21 Kondisi 2

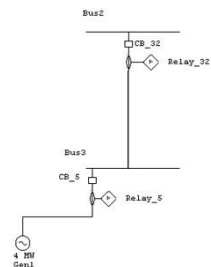


Gambar 4.16 Hasil Plot *Setting* OCR Metode AMFA Tipikal 21 Kondisi 2

2. Tipikal 22

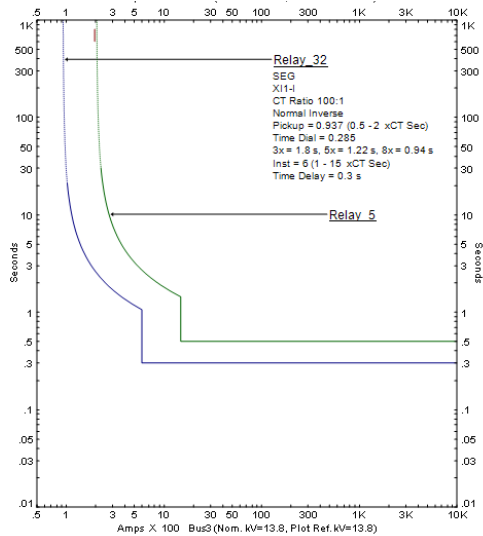


(a)

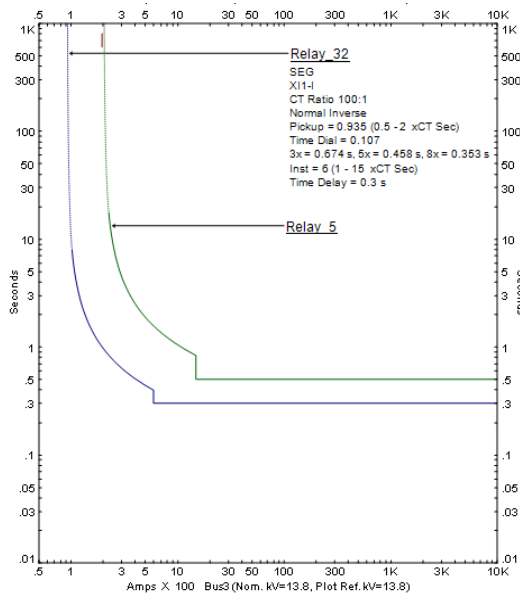


(b)

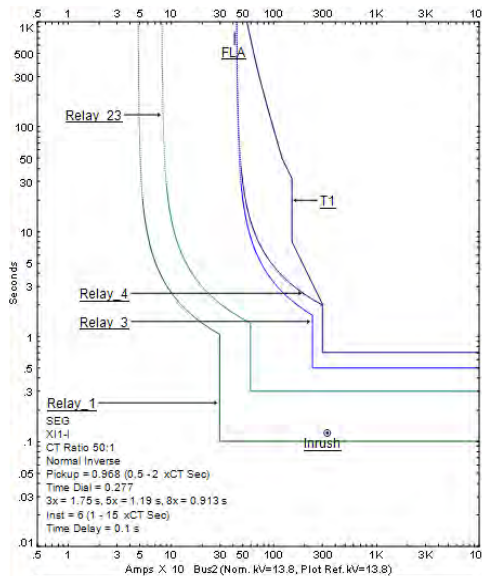
Gambar 4.17 (a) Hasil Plot dari *Setting* OCR Metode Manual Tipikal 22 pada Kondisi 2, dan (b) Plant Kondisi 2 Tipikal 22



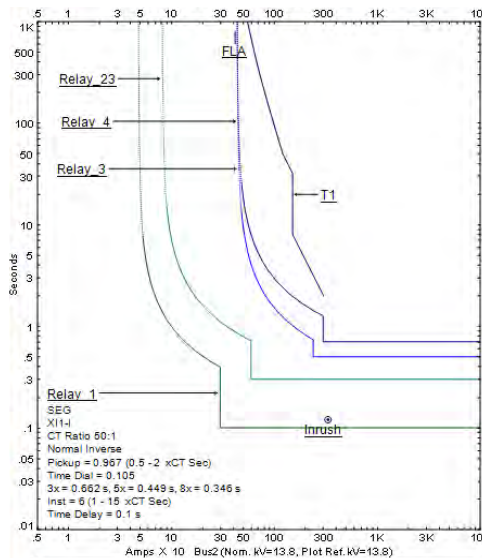
Gambar 4.18 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 22 Kondisi 2



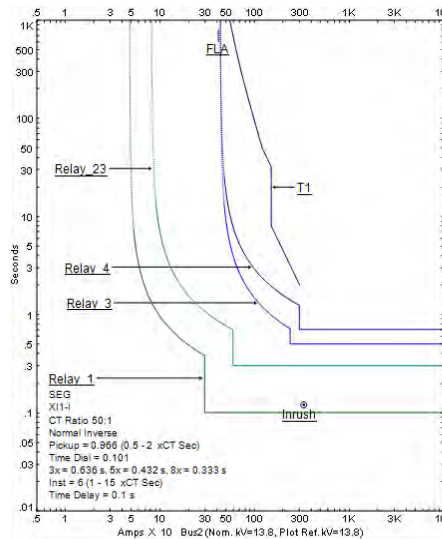
Gambar 4.19 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 22 Kondisi 2



Gambar 4.22 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Kondisi 3



Gambar 4.23 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Kondisi 3

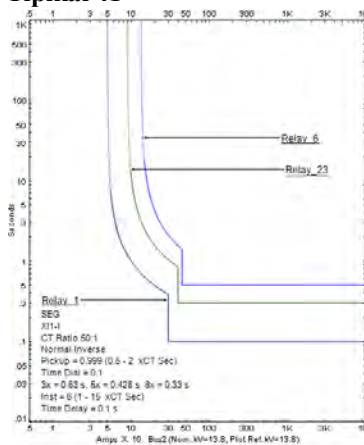


Gambar 4.24 Hasil Plot *Setting* OCR Metode AMFA Kondisi 3

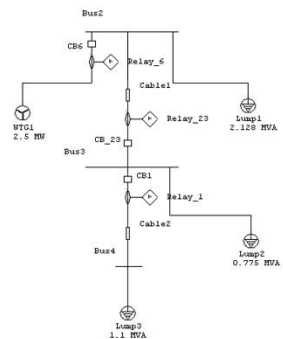
4.4.4 Hasil Plot dari *Setting* pada Kondisi 4

Kondisi 4 terjadi ketika Grid tidak memberikan suplai.

1. Tipikal 41

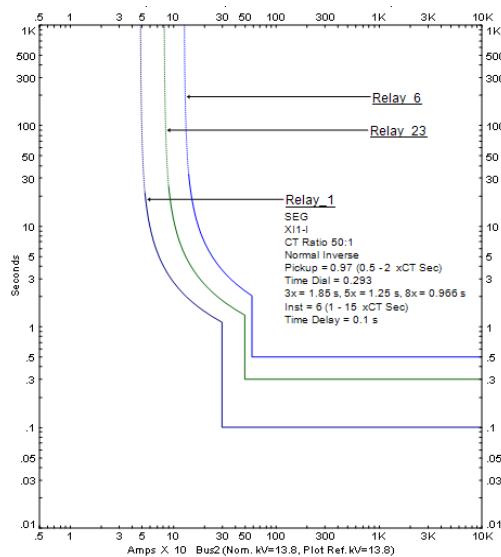


(a)

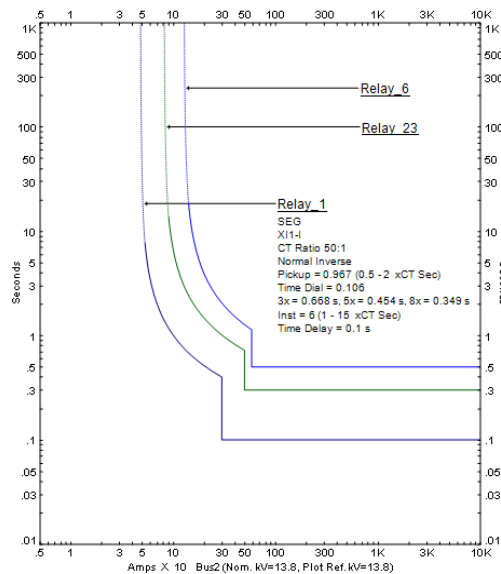


(b)

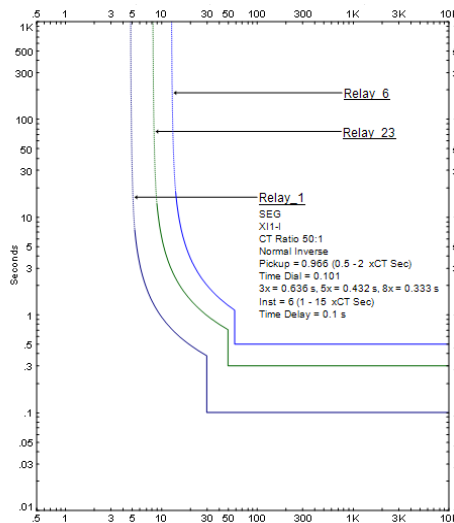
Gambar 4.25 (a) Hasil Plot dari *Setting* OCR Metode Manual Tipikal 41 pada Kondisi 4, dan (b) Plant Kondisi 4 Tipikal 41



Gambar 4.26 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 41 Kondisi 4

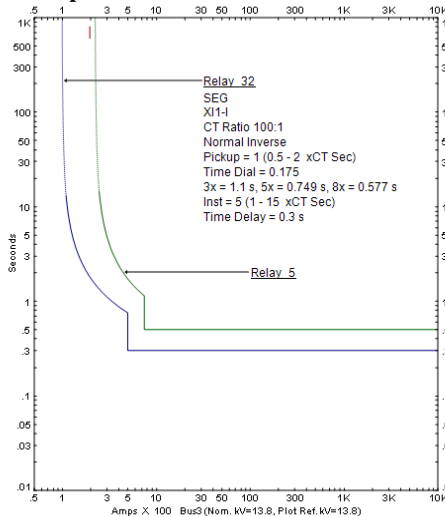


Gambar 4.27 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 41 Kondisi 4

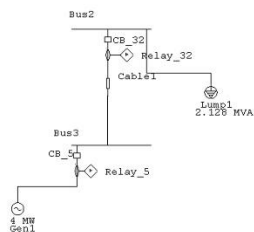


Gambar 4.28 Hasil Plot *Setting* OCR Metode AMFA Tipikal 41 Kondisi 4

2. Tipikal 42

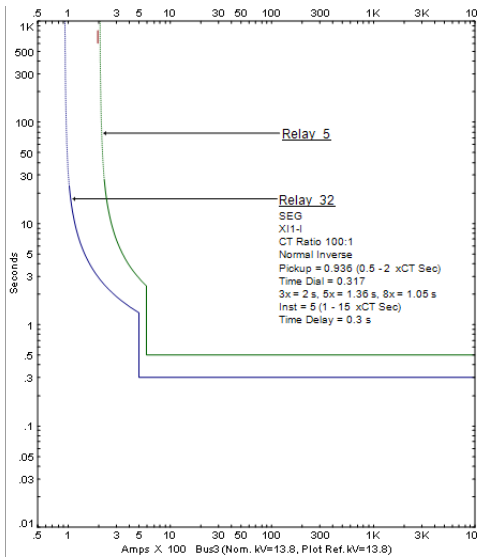


(a)

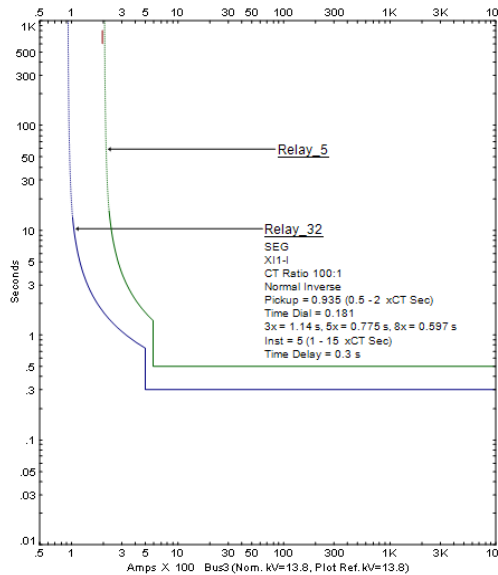


(b)

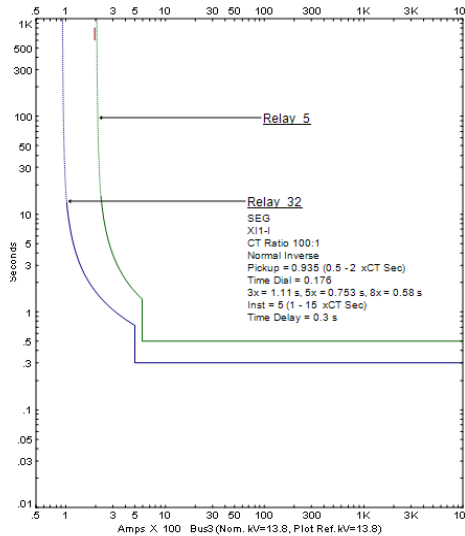
Gambar 4.29 (a) Hasil Plot dari *Setting* OCR Metode Manual Tipikal 42 pada Kondisi 4, dan (b) Plant Kondisi 4 Tipikal 42



Gambar 4.30 Hasil Plot *Setting* OCR Metode FA Tipikal 42 Kondisi 4



Gambar 4.31 Hasil Plot *Setting* OCR Metode MFA Tipikal 42 Kondisi 4



Gambar 4.32 Hasil Plot *Setting* OCR Metode AMFA Tipikal 42 Kondisi 4

Dari hasil plot pada berbagai kondisi dan metode yang digunakan, dapat dilihat bahwa semua hasil *setting* masih memenuhi batasan yang diberikan, sehingga hasil koordinasi masih dapat digunakan. Namun meskipun hasil koordinasi masih memenuhi batasan, terdapat perbedaan nilai TDS pada setiap kondisi dan metode yang digunakan, perbedaan inilah yang digunakan untuk menentukan metode manakah yang memiliki tingkat akurasi dan ketelitian paling baik. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan dua acara, yaitu cara konvensional mencari hasil nilai secara manual, dan kecerdasan buatan menggunakan salah satu metode metaheuristik yaitu *modified firefly algorithm*. Dari kedua cara dan hasil yang telah didapat, dapat disimpulkan bahwa:

1. Secara hasil, metode konvensional adalah yang terbaik, sehingga metode optimasi digunakan untuk mendapatkan hasil seperti cara konvensional namun dengan proses yang lebih cepat.
2. Metode AI dapat dibandingkan hasilnya dengan metode AI yang lain, dengan kata lain MFA dibandingkan dengan FA, dan AMFA dibandingkan dengan MFA.
3. Metode MFA memiliki hasil yang lebih baik daripada FA karena MFA adalah FA yang termodifikasi. Modifikasi yang dilakukan

adalah mengurangi nilai α sebesar 0,001 setiap iterasi, sehingga nilai optimal bisa didekati. Misalnya untuk kondisi 1, nilai TDS dan I_{pickup} pada rele 1 menggunakan FA adalah 0,236 detik dan 0,969 In sedangkan metode MFA adalah 0,105 detik 0,967 In.

4. Metode AMFA merupakan perbaikan dari MFA, dimana nilai α diadaptifkan terhadap iterasi yang digunakan, sehingga berapapun iterasi yang digunakan, nilai TDS dan I_{highset} yang didapatkan bisa lebih optimal. Nilai TDS menggunakan AMFA lebih baik daripada menggunakan MFA yaitu sebesar 0,101 detik. Selain itu, nilai I_{pickup} juga lebih minimal dan optimal, yaitu 0,966 In.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari semua hasil analisis pada penggunaan AI untuk pencarian koordinasi OCR secara optimal pada sistem kelistrikan radial dengan DG, adalah:

1. Hasil *setting* manual tidak untuk dibandingkan dengan metode optimasi, namun dapat disimpulkan menggunakan metode AI lebih bermanfaat karena mempersingkat waktu dan mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi karena kurangnya ketelitian saat melakukan hitung manual.
2. Pada setiap kondisi, koordinasi menggunakan FA, MFA dan AMFA memiliki perbedaan. Pada kondisi 1, apabila menggunakan FA total TDS adalah 2,755 detik, ketika menggunakan MFA adalah 1,668 dan AMFA adalah 1,636 detik. Sehingga dapat disimpulkan metode AMFA mampu mencapai kondisi optimal lebih baik dan memiliki tingkat akurasi lebih tinggi.
3. Perubahan kondisi berpengaruh pada besar arus gangguan hubung singkat, rata-rata arus hubung singkat maksimum pada kondisi 1 sebesar 4125 A, kondisi 2 sebesar 3643 A, kondisi 3 sebesar 2966 A, dan kondisi 4 adalah 2327 A. Oleh karena arus hubung singkat maksimum berpengaruh pada TDS maka dapat disimpulkan bahwa perubahan kondisi sistem memiliki pengaruh terhadap TDS, meskipun tidak begitu besar namun apabila *setting* adaptif ini mampu dimanfaatkan maka koordinasi akan menjadi lebih akurat.
4. Rata-rata arus hubung singkat minimum pada kondisi 1 adalah 2989 A, kondisi 2 sebesar 2989 A, kondisi 3 sebesar 2412 A, dan kondisi 4 sebesar 736 A. Arus hubung singkat minimum pada kondisi 1 dan 2 memiliki kesamaan karena hanya terjadi perubahan kondisi keberadaan WTG, maka disimpulkan bahwa WTG tidak memberikan arus kontribusi hubung singkat minimum. Arus hubung singkat minimum juga mempengaruhi *setting* I_{pickup} sehingga perubahan kondisi mempengaruhi *setting* I_{pickup} .
5. Nilai β_0 kecil memiliki tingkat akurasi yang baik karena gerak perpindahannya yang kecil namun lambat dalam menuju titik konvergen.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Pengembangan yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian untuk pengembangan lebih lanjut metode modifikasi *firefly* pada pengaman sistem kelistrikan guna mendapatkan hasil yang lebih optimal dan lebih adaptif beserta aplikasinya di industri.
2. Pengembangan pemrograman untuk mendapatkan hasil yang lebih adaptif, seperti mampu memilih jenis kurva yang harus digunakan pada berbagai kondisi.
3. Modifikasi adaptif nilai β perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampuan adaptif *firefly*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarabia, Angel F, "*Impact of Distribution Generation on Distributed System*", Aalborg University Dissertation, Denmark, 2011.
- [2] Zeineldin, H. H., "*Optimal Protection Coordination for Meshed Distribution Systems With DG Using Dual Setting Directional Over-Current Relays*", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 6, No. 1, 2015
- [3] Mohammadi, Reza, "*Overcurrent Relays Coordination Considering the Priority of Constraints*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No. 3, July 2011
- [4] Noghabi, Abbas Saberi, "*Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Considering Different Network Topologies Using Interval Linear Programming*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 23, No. 3, 2010
- [5] Mahari, Arash, "*An Analytic Approach for Optimal Coordination of Overcurrent Relays*", Published in IET Generation, Transmission and Distribution, Iran, 2013
- [6] C. W. So, "*Overcurrent relay coordination by evolutionary programming*", Electric Power System Research, Hong Kong, 2000
- [7] Uthisunthorn, Dusit, "*Optimal Overcurrent Relay Coordination using Genetic Algorithms*", International Conference on Advances in Energy Engineering, Thailand, 2010
- [8] Hussain, M. H., "*Modified Swarm Firefly Algorithm Method for Directional Overcurrent Relay Coordination Problem*", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Malaysia, 2014
- [9] Gokhale, S. S., "*Application of the firefly Alghorithm to optimal over-current relay coordination*", Associate Prof., Y. C. C. E, Nagpur, India
- [10] X. S. Yang, "*Engineering Optimization: an introduction with metaheuristic application*", John Wiley & Sons, Inc., Cambridge, UK, 2010
- [11] Cahier Technique No. 158, "*Calculation of Short Circuit Current*", Schnider Electric, 2005

- [12] Gurevich, Vladimir, "*Electrical Relays, Principle and Application*", CRC Press, USA, Ch. 10, 2006
- [13] Olamaei, J., "*A New Adaptive Modified Firefly Algorithm to Solve Optimal Capacitor Placement Problem*", Islamic Azad University, Tehran, Iran
- [14] IEEE Std C37.112-1996, "*IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays*", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996
- [15] Daniyal, Hamdan, "*Modified Firefly Algorithm in Solving Economic Dispatch Problem with Partical Constrains*", IEEE International Conference on Power and Energy, Kinabalu Sabah, Malaysia, 2012
- [16] Niknam, Taher, "*Reserve Constrained Dynamic Economic Dispatch: A New Fast Self-Adaptive Modified Firefly Algorithm*", IEEE Systems Journal, Vol. 6, No. 4, 2012
- [17] Maiola, P. C., '*A multi-agent system for protection coordination of radial systems in the presence of distributed generation*', Federal University of Santa Catarina, Brazil
- [18] Abyaneh, Hossein Askarian, "*A New Optimal Approach for Coordination of Overcurrent Relays in Interconnected Power System*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 2, 2003
- [19] Zellagui, M., "*Application of Firefly Algorithm for Optimal Coordination of Directional Overcurrent Protection Relays in Presence of Series Compensation*", Journal of Automation and System Engineering 8-2:92-107, 2014
- [20] Mozina, Charles J., "*Impact of Smart Grids and Green Power Generation on Distribution System*", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 49, No. 3, May/June, 2013

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Alfa Kusnal Faizin dilahirkan di Blitar 03 Februari 1993, menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember jurusan Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga mulai tahun 2011. Penulis dibesarkan dalam sebuah keluarga kecil dari pasangan Sarifudin dan Binti Munawaroh di sebuah desa kecil dan memiliki 2 adik laki-laki yang bernama Wildan Nur Fitra dan M. Nailul Ulum. Kegemaran olahraga membuat penulis pernah tiga kali menjuarai kompetisi futsal.

Selain itu, finalis fotografi dan juga lomba inovasi bisnis tingkat nasional juga pernah penulis raih semasa kuliah. Penulis aktif dalam bidang organisasi dan kepanitiaan tingkat institut. Penulis pernah menjadi sekretaris departemen kewirausahaan himpunan mahasiswa jurusan Teknik Elektro pada tahun ke-3. Pada tahun 2015, penulis menyelesaikan tugas akhir serta melaksanakan seminar dan sidang tugas akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.